

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa



Anna Woźniak

**Wpływ egzogennych regulatorów wzrostu na
wybrane wskaźniki fizjologiczne i wartość biologiczną
soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr)**

Praca doktorska wykonana w
Katedrze Fizjologii Roślin pod kierunkiem
dr. hab. Jacka Wróbla

Szczecin 2009

Spis treści

Wstęp

1. Przegląd

literatury.....5

2. Materiał i metody16

2.1. Charakterystyka materiału roślinnego i regulatorów wzrostu.....16

2.2. Doświadczenie wazonowe.....16

2.2.1. Metody założenia i prowadzenia doświadczenia.....16

2.2.2. Metody pomiarów cech biometrycznych i fizjologicznych.....20

2.2.3. Metody analiz chemicznych.....22

2.2.4. Oznaczenie faz fenologicznych.....23

2.3. Metody statystyczne opracowania wyników.....24

2.4. Warunki meteorologiczne.....24

3. Wyniki.....29

3.1. Fazy fenologiczne soi zwyczajnej29

3.2. Parametry wymiany gazowej32

3.2.1. Asymilacja, transpiracja, przewodność szparkowa oraz
stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych liści
soi.....32

3.2.2. Zawartość barwników asymilacyjnych.40

3.2.3. Cechy biometryczne aparatów szparkowych.....43

3.3. Cechy biometryczne soi zwyczajnej51

3.3.1. Wysokość roślin.....51

3.3.2. Liczba liści i powierzchnia asymilacyjna.....55

3.3.3. Plon strąków i nasion.....57

3.4. Wartość biologiczna soi zwyczajnej62

3.4.1. Zawartość makroelementów w nasionach soi.....62

3.4.2. Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach soi.....68

3.5. Zależności prostoliniowe parametrów fizjologicznych i biometrycznych
soi zwyczajnej70

3.5.1. Korelacja prostoliniowa pomiędzy parametrami wymiany
gazowej soi zwyczajnej70

3.5.2. Korelacja prostoliniowa pomiędzy parametrami wymiany gazowej, a parametrami aparatów szparkowych soi zwyczajnej	73
3.5.3. Korelacja prostoliniowa pomiędzy parametrami wymiany gazowej, a plonem soi zwyczajnej	76
4. Dyskusja	78
5. Wnioski	89
Literatura.....	92
Spis skrótów i symboli.....	111

Wstęp

Soja (*Glycine max* L. Merr) od wielu lat wzbudza wśród plantatorów duże zainteresowanie, ze względu na dużą wartość odżywczą nasion, które zawierają znaczne ilości cennego białka, tłuszczu oraz składników mineralnych potrzebnych w codziennej diecie człowieka. Ponadto jest ona produktem wykorzystywanym jako różnego rodzaju śruty sojowe, które stanowią dominujące źródło białka w żywieniu zwierząt (Pisulewska 2000, Boros 2002). W Polsce jest jednak rośliną mało popularną ze względu na duże wymagania cieplne, przy jednocześnie wysokich wymaganiach wodnych. Niesprzyjające warunki klimatyczne panujące w Polsce znacznie ograniczają uprawę tej rośliny (Borecka-Jamro i Pizło 1996). Ponadto uważa się, że soja charakteryzuje się niestabilnym i zmiennym plonem (Kołpak 1996; Cho i in. 2002; Von Richthofen 2006 a, b).

Nieliczni plantatorzy wciąż poszukują nowych odmian, które plonowałyby w naszych warunkach na wysokim poziomie i charakteryzowałyby się wysoką wartością użytkową. W produkcji ogrodniczej i rolniczej zwraca się coraz większą uwagę na wykorzystanie syntetycznych hormonów roślinnych, czy też biostymulatorów, jako substancji wspomagających i poprawiających plonowanie wielu roślin. Często zamiast naturalnych hormonów roślinnych, stosuje się syntetyczne substancje chemiczne o podobnym, ale silniejszym działaniu, których zaletą jest mała toksyczność dla ludzi i zwierząt (Jankiewicz 1997; Basak 1998, 2002).

Egzogenne hormony roślinne wykorzystywane są do poprawy potencjału plonotwórczego i wartości biologicznej różnych gatunków roślin, w tym roślin strączkowych, mających wysokie wymagania siedliskowe, często nieodpowiadające warunkom klimatycznym panującym w Polsce (Śnieg 2004). Przy kontrolowanym stosowaniu odpowiednio dobranych substancji w pewnym zakresie można wpłynąć na aktywność fizjologiczną oraz poprawę parametrów biometrycznych tych roślin, co w konsekwencji będzie rzutowało na ilość i jakość uzyskanego plonu (Jankiewicz 1997).

1. Przegląd literatury

Soja (*Glycine max* L. Merr) jest jedną z cenniejszych gospodarczo roślin, uprawianych w wielu krajach o zróżnicowanych warunkach klimatyczno-glebowych. Areal uprawy tej rośliny na świecie ciągle wzrasta. Jest to związane sytuacją na rynkach żywności i pasz, gdzie coraz większą rolę odgrywa białko roślinne, tańsze w produkcji od białka zwierzęcego (Boros 2002). Wzrastające zainteresowanie uprawą soi związane jest z jej dużą wartością biologiczną i zaletami dietetycznymi (Szyrmer 1987; Pisulewska 2000; Panthee i in. 2006). Nasiona soi zawierają około 40 % białka o najlepszym wśród roślin składzie aminokwasowym, którego wartość jest uważana za wyższą od białka zwierzęcego (Szyrmer 1979). Ponadto nasiona zawierają średnio około 20 % tłuszczu, o wysokiej zawartości niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, składniki mineralne, tj. wapń, fosfor, potas, a także witaminy z grupy B oraz cenne fitoestrogeny (Zeller 1999; Rogalska-Niedźwiedz 2000; Boros 2002). Cenny skład nasion jest podstawą do wykorzystania soi zarówno na rynku światowym, jak i krajowym w postaci znanych i cenionych produktów pochodzenia sojowego (Lichtenstein 1998; Zeller 1999). Białko i tłuszcz zawarte w nasionach początkowo wykorzystywane były na cele paszowe, ale w ostatnich 30 latach są cennym i znaczącym źródłem surowców w żywieniu człowieka. Obecnie soja jest uważana za źródło „taniego białka”, gdyż spośród roślin motylkowych ma najwyższą wydajność z hektara o wysokiej wartości biologicznej (Haber 1996; Świederski i Iwaszkiewicz-Robak 1996). Roślina ta ma średnio-wysokie wymagania glebowe, ale pod jej uprawę nie nadają się gleby zlewne i kwaśne. Najlepiej udaje się na glebach średniozwięzłych, ciepłych o dobrej strukturze, a także na czarnych ziemiach i czarnoziemach zasobnych w składniki pokarmowe (Pawłowski i in. 1990; Boros 2002). Jak wszystkie rośliny motylkowe wykorzystuje azot z powietrza poprzez symbiozę z bakteriami brodawkowymi *Rhizobium*, wiążącymi wolny azot atmosferyczny, skutkiem czego jest zmniejszona potrzeba nawożenia azotowego (Jasińska i Kotecki 1993; Podleśny 1997; Zeller 1999; Kocoń 1999, 2003) co ma duże znaczenie ekonomiczne (Podleśny 2005).

Soja jest rośliną dnia krótkiego, wrażliwą na niekorzystne warunki środowiska, do których można zaliczyć dość duże wymagania wodne (Gej i in. 1994; Grzesiak i in. 1996; Nowak i in. 1997) i ciepłe o dużym nasłonecznieniu, szczególnie w okresie kwitnienia (Boros 2002). Niekorzystne warunki do uprawy soi ograniczają procesy wzrostu i rozwoju tj. asymilację i transpirację, a w konsekwencji powodują znaczne obniżenie plonowania

(Michalek 1999) i spadek jego wartości odżywczej (Borecka-Jamro i Pizło 1996; Michalek i Borowski 2006). Warunki klimatyczne są najczęściej przyczyną dużego deficytu surowców białkowych pochodzenia roślinnego (Podleśny 2005). Małe rozpowszechnienie tej rośliny na terenie naszego kraju jest spowodowane niekorzystnymi warunkami klimatycznymi (Borecka-Jamro i Pizło 1996). W Polsce najkorzystniejszy region do uprawy soi znajduje się w regionie południowo-wschodnim (Boros i in. 1996; Borecka-Jarmro i Pizdło 1996). Soja jako roślina pochodząca z Dalekiego Wschodu bardzo zmiennie reaguje na przyrodnicze warunki klimatyczne naszego kraju (Kołpak 1996).

Obecnie na świecie trwają intensywne badania hodowlane nad uzyskaniem odmian soi o mniejszych wymaganiach cieplnych i bardziej odpornych na zmienne warunki środowiska. Uważa się, iż nawożenie i ochrona roślin nie dają już możliwości znacznego podwyższenia plonów (Michalek i Borowski 2006). Rośliny strączkowe charakteryzują się niestabilnym plonem (Von Richthofen 2006 a,b). Coraz częściej podejmuje się różne inicjatywy mające na celu rozwiązanie problemów szeroko rozumianej biologii tej grupy roślin, które zwiększyłyby wartość użytkową, co w konsekwencji mogłoby doprowadzić do zwiększonego wykorzystania tych roślin (Świącicki i in. 2007). W związku z tym zwraca się również uwagę na wykorzystanie różnych substancji wzrostowych w produkcji roślinnej przede wszystkim w celu zwiększenia potencjału plonotwórczego, wartości biologicznej w niesprzyjających warunkach klimatycznych, bądź warunkach nie odpowiadających danej roślinie (Pospisilova i in. 2000).

System regulacyjny roślin polega na przepływie hormonów, czyli substancji chemicznych pochodzenia organicznego, które mają właściwości regulowania procesów wzrostowych i rozwojowych, takich jak pobudzanie wzrostu, czy też podziałów komórkowych (Jankiewicz 1997). Spośród wszystkich substancji uczestniczących w regulacji procesów wzrostu i rozwoju wyróżniamy m.in. hormony roślinne, które mają określone właściwości, tj. występowanie w bardzo niskich stężeniach, wykazywanie aktywności biologicznej, czy też obecność we wszystkich roślinach. Hormony roślinne biorą udział w rozwoju roślin na wszystkich jego etapach, od kiełkowania nasion, poprzez wzrost wegetatywny, różnicowanie, indukcję kwitnienia, dojrzewanie oraz starzenie się i śmierć rośliny (Jankiewicz 1997). Do takich hormonów powszechnie występujących w roślinach zaliczamy przede wszystkim auksyny i cytokiny, które odgrywają kluczową rolę we wzroście i rozwoju roślin (Bröttger i in. 1978; Katekar i Geissler 1982; Silviera i in. 1984; Svenson 1991; Smart i in. 1991; Gan i Amasino 1995; Sitbon i Perrot-Rechenmann 1997; Jankiewicz 1997; Downs i in. 1997; Legocka 1997; Copes i Mandel 2000; Karcz i in. 1999; Reinecke i in. 1999; Jakubowska i in.

2001; Leyser 2001; Nogalska i Czaplą 2002, 2005; Czerpak i Piotrowska 2003; Baluška i in. 2003; Jakubowska 2003; Skutnik i in. 2004; Wodzicki 2004; Costa i in. 2005; Heiser i Jonsson 2006; Kramer i Bennett 2006; Zhao 2008) Do głównych właściwości naturalnych auksyn zalicza się m.in. pobudzanie wzrostu elongacyjnego komórek, wzrost i rozwój owoców, czy dominacja wierzchołkowa (McDonald 1997; Szydło 2003). Natomiast podstawową właściwością naturalnych cytokinin jest m.in. pobudzanie podziałów komórkowych w merystemach, przeciwdziałanie starzeniu się organów roślinnych oraz znoszenie dominacji wierzchołkowej (Sujatha i Reddy 1998; Trejgell i in. 2007). Cechą charakterystyczną i różniącą obydwie te hormony jest różne miejsce syntezy w roślinie od miejsca aktywności fizjologicznej (Mikos-Bielak 2005). Auksyny syntetyzowane są z tryptofanu w młodych pędach, liściach i owocach, po czym transportowane polarnie, dopodstawowo przez łądygę do innych części rośliny (Jones 1998; Zhao 2008). Taki transport auksyn jest decydujący dla wzrostu i rozwoju roślin (Kramer i Bennett 2006), ponieważ ma ogromny wpływ na regulację kształtu rośliny (Jankiewicz 1997; Benkova i in. 2003). Natomiast transport auksyny z komórki do komórki następuje na zasadzie dyfuzji poprzez membranę plazmatyczną (Delbarre 1996; Baluška i in. 2003). Cytokiny wytwarzane są głównie w wierzchołku korzenia, po czym transportowane w soku ksylemowym i floemowym w obu kierunkach do powierzchniowej części rośliny, jak i korzenia (Neuman i in. 1990).

W praktyce rolniczej i ogrodniczej zamiast naturalnych hormonów coraz częściej stosuje się syntetyczne (ezgogenne) substancje chemiczne o podobnym, a często silniejszym działaniu (Jankiewicz 1997). W ostatnich latach wzrasta tendencja do wykorzystywania metod biologicznych, a także poszukiwania nowych środków ochrony, charakteryzujących się brakiem toksyczności lub niską toksycznością dla ludzi i środowiska. Przy stosowaniu różnych preparatów uwzględnia się warunek, by były one „przyjazne środowisku”, ekologicznie nieszkodliwe oraz łatwo biodegradowane przez rośliny (Grzywińska-Rapca 1995). Regulatory wzrostu roślin zgodnie z art. 2 p. 14 ustawy o ochronie roślin z dnia 18 grudnia 2003 (Dz.U. 2003, art.2 p.14) zaliczane są do środków ochrony roślin (Pruszyński 2008). Według ustawy środki ochrony roślin obejmują wszystkie substancje aktywne, w tym też regulatory wzrostu wpływające na procesy życiowe w inny sposób niż składniki pokarmowe. Zdaniem Basaka (1998; 2002) jest to odrębna grupa związków, inna niż np. pestycydy i fungicydy, charakteryzująca się innym mechanizmem działania, bardzo aktywnym po

zastosowaniu na roślinę, jednak nie wykazującym szkodliwego działania w stosunku do zwierząt.

Egzogenne regulatory wzrostu obecnie stosowane, często oparte są o naturalnie występujące w roślinach hormony, obejmują liczną grupę preparatów stanowiących mieszaniny różnych substancji czynnych, bądź występujących pojedynczo. Do takich można zaliczyć wykorzystywane od wielu lat w produkcji ogrodniczej i rolniczej m.in. syntetyczne auksyny i cytokininy. Do ważniejszych egzogennych auksyn zaliczamy kwas indolilo-3-octowy (IAA), który również jest naturalną auksyną, kwas inolilomasłowy (IBA), kwas 1-naftylooctowy (NAA), kwas β -naftoksoctowy (NOA), kwas 2,4-dichlorofenoksoctowy (2,4-D), natomiast wśród ważniejszych egzogennych cytokinin wyróżniamy kinetynę (6-furfuryloaminopurynę) i 6-benzyloaminopurynę (BAP) (Jankiewicz 1997).

Jedną z właściwości hormonów roślinnych jest współdziałanie z innymi hormonami, czego przykładem mogą być egzogenne cytokininy i auksyny (szczególnie w dużych stężeniach) stymulujące biosyntezę etylenu w tkankach (Bertell i Eiasson 1992; Lorteau i in. 2001; Khan i in. 2002) co dowodzi, że wiele zjawisk przypisywanych tym hormonom może być odpowiedzią rośliny na wysoki poziom etylenu. Taka reakcja może spowodować przyspieszenie kwitnienia i zawiązywanie owoców niektórych roślin (Jankiewicz 1997). Innym przykładem może być współdziałanie cytokininy z auksyną np. w pobudzaniu działalności kambium i formowaniu się tkanek przewodzących (Orlikowska 1997), co wiąże się z lepszym zaopatrzeniem tkanek w asymilaty, a w konsekwencji poprawą plonowania (Aldesuquy 2000).

W przeszłości syntetyczne hormony wykorzystywane były m.in. do przerzedzania zawiązków na roślinach. Poprzez zrzucanie nadmiernej ilości kwiatów roślina reguluje ilość swojego potomstwa (Bangerth 1989). Przedwczesne opadanie kwiatów ogranicza rozwój owoców i plon (Baylis i Clifford 1991). Niektóre rośliny, w tym soja charakteryzują się bardzo obfitym kwitnieniem, jednak kwiaty i młode strąki opadają dość licznie w porównaniu do dojrzałych i rozwiniętych owoców (Cho i in. 2002). Powoduje to zmniejszenie potencjału produkcyjnego tych roślin (Rylott i Smith 1990). Hormony roślinne w dużym stopniu wpływają na różnicowanie kwitnienia roślin (Friedman i in. 1990; Galoch i in. 1996; Nahar i Ikeda 2002)

Noden i in. (1990) donoszą o zależności pomiędzy poziomem endogennych cytokinin, a liczbą opadniętych kwiatów i strąków u soi. Podaje on, że opryskiwanie tych roślin syntetyczną cytokininą zapobiega temu procesowi wyrównując gospodarkę

hormonalną (Mosjidis i in. 1993; Nagel i in. 2001). Niektórzy autorzy przypisują szczególną rolę auksynom, zwłaszcza u roślin motylkowych, których potencjalne możliwości plonowania nie są w pełni uaktywnione (Klasa i in. 1996; Reinecke i in. 1999), pomimo że rośliny te cechuje bardzo duży potencjał plonotwórczy (Nalborczyk 1993). W naszych warunkach klimatycznych dotyczy to szczególnie soi. Okazuje się, że poziom endogennej auksyny w rozwijających się kwiatach jest zbyt niski, co może być przyczyną opadania zarówno samych kwiatach, jak i rozwijających się z nich strąków – rzutując w efekcie na obniżenie plonu. Wzrost zawartości auksyny drogą opryskiwania może zmienić tę sytuację. Po za tym w roślinach występują enzymy dość szybko rozkładające naturalną auksynę (Rylott i Smith 1990). Rozwój strąków i ich plonu jest również w dużej mierze uzależniony od dostarczenia asymilatów do tych części roślin. Dystrybutorami asymilatów są hormony roślinne takie jak: auksyny i cytokininy, które stymulują ich transport oraz gromadzenie (Resse i in. 1995; Rodrigo i in. 1997). Rola hormonów w transporcie i dystrybucji substancji pokarmowych dotyczy przede wszystkim oddziaływanie na wzrost akceptorów i aktywność enzymów związanych z załadunkiem i rozładunkiem floemu oraz pełnienia funkcji substancji sygnałowych w przekazywaniu informacji o zapotrzebowaniu akceptorów (Kozłowska 2007). Regulatory wzrostu wpływają ponadto na pogrubienie szypułki kwiatostanowej u roślin poprzez wzrost unaczynienia w tkankach i przez to sprawniejszy przepływ asymilatów z części wegetatywnych do generatywnych, co z kolei rzutuje na lepsze wypełnienie nasion (Peterson i in. 1990; Kung i in. 1991b; Qifu i in. 1998; Aldesuquy 2000) Związki te pośrednio regulują pobieranie składników pokarmowych przez rośliny oraz wpływają na ich transport, a także na remobilizację w czasie wykształcania nasion i w konsekwencji na plonowanie (Harms i Nowak 1990; Czapla 2003; Czapla i in. 2005)

Literatura donosi o licznych badaniach potwierdzających wpływ egzogennych hormonów wzrostu na plonowanie roślin. Wielu autorów twierdzi, iż aplikowanie egzogennych hormonów na rośliny może podnieść ich produktywność, stymulując wzrost i rozwój wytworzonych owoców (Reinecke i in. 1995). Zwracają oni uwagę na wyraźne oddziaływanie syntetycznych auksyn i cytokinin na zwiększenie plonowania roślin strączkowych, takich jak soja (Corsby i in. 1981; Carlson i in 1987; Peterson i in. 1990; Chaplot i in. 1992; Nagel i in. 2001; Cho i in. 2002; Nahar i in. 2002; Czapla 2003), bobik (Rylott i Smith 1990; Clifford i in. 1992; Klasa i in. 1996; Nowak i in. 1997a), groch (Ozga i in. 1999; Johnstone i in. 2005), niktla (Barclay i McDavid 1998) oraz różnych krzyżowych, tj kapusty (Ahmad i in. 2001), u których jak podają autorzy,

następuje zwiększenie liczby strąków na roślinie i nasion w strąku. Zastosowanie syntetycznych regulatorów wzrostu powoduje wydłużenie i zwiększenie masy strąku (Ozga i Dennis 1999). Korzystny wpływ regulatorów wzrostu wykazano także na inne rośliny tj. pszenżyto (Czapla i in. 2005) i jęczmień (Sivakumar i in. 2001), u których zwiększał się udział ziarna w całkowitej masie nadziemnej. Korzystne efekty stwierdzono też u truskawki (Basak 1998; Masny i in. 1999) i cebuli (Naamni i in. 1980).

Nieliczni autorzy (Johnstone i in. 2005) informują o zmniejszeniu perykarpu pod wpływem egzogennych regulatorów wzrostu w przypadku grochu.

Wymiana gazowa roślin jest jednym z ważniejszych czynników decydujących o tworzeniu plonu roślin (Simon 1994; Thompson i in. 1995; Michałek i Borowski 1998). Ashraf i in. (2006) twierdzą, że fotosynteza jest istotnie dodatnio skorelowana z plonem roślin. Politycka (2007) podaje, iż fotosynteza w dużym stopniu determinuje biologiczny plon roślin. W przypadku, gdy plonem są liście lub cała część nadziemna, występuje bardzo ścisła zależność między plonem, a intensywnością fotosyntetyczną, natomiast w przypadku, gdy plonem są organy generatywne, wówczas asymilacja CO₂ nie jest jedynym procesem decydującym o jego wielkości. Fotosynteza jest bardzo ważnym procesem kontrolującym wzrost i produkcję suchej masy (Ashraf i in. 2006). Zależność pomiędzy wydajnością fotosyntetyczną, a plonem u roślin soi może być zróżnicowana, w zależności od genotypu i odmiany. Hobbs i Mahon (1982) podają, że zmienność intensywności fotosyntezy u roślin strączkowych zależy od przewodności szparkowej. Potwierdza to tezę o dużej roli aparatów szparkowych w dostępie CO₂ do miękiszu liścia i dyfuzji pary wodnej pomiędzy liściem, a otoczeniem zewnętrznym (Zeiger 1983; Salleo i in. 2000; Klamkowski i in. 2008). Intensywność procesów wymiany gazowej może różnić się w poszczególnych stadiach rozwojowych roślin, przy czym najwyższa aktywność występuje najczęściej w okresie kwitnienia roślin, zaś najniższa w okresie rozwoju nasion (Subrahmanyam 2002).

Na wielkość procesów fizjologicznych w roślinie wpływają przede wszystkim warunki siedliskowe, genotyp danej rośliny (Kaczmarczyk i in. 1993) oraz warunki klimatyczne, które w znacznym stopniu modyfikują procesy wymiany gazowej (Luquez 1997). Egzogenne hormony wzrostu mogą w różny sposób wpływać na wymię gazową roślin tj. asymilację i transpirację, przewodność szparkową czy stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych (Bertel i Eliasson 1992; Lechowski 1997; Metwally i in. 1997; Kumar i in. 2001; Ruclova i Pospíšilová 2001; Nahar i Ikeda 2002; Pandey i in. 2003; Przybysz i in. 2008). W literaturze można znaleźć różne, często sprzeczne opinie o wpływie syntetycznych hormonów wzrostu na

procesy wymiany gazowej. Niektórzy autorzy donoszą o wzmożonej fotosyntezie i transpiracji u roślin soi po zastosowaniu syntetycznej auksyny (Kuang i in 1991a,b; Nahar i Ikeda 2002), u grochu (Pospíšilová i in. 2001; Pospíšilová 2003), kapusty (Ahmad 2001), pszenżyta (Aldesuquy 2000), pszenicy (Jurekova i Mlady 1995), jęczmienia (Ashraf i in. 2006). Natomiast spadek intensywności asymilacji i transpiracji u roślin komeliny i fasoli obserwowali Rulcová i Pospíšilová (2001), Dodd (2003).

Aparaty szparkowe stanowią bramę do transportu pary wodnej, dwutlenku węgla oraz tlenu, regulują wymianę gazową oraz temperaturę liścia (Muller i Bergman 1996; Chaves i in. 2002). Otwieranie się aparatów szparkowych u większości roślin następuje przy odpowiednim uwodnieniu tkanek i napromieniowaniu liści, a także przy obniżeniu stężenia CO₂ w atmosferze (Morison 1998).

Niektóre egzogenne hormony roślinne, takie jak auksyny i cytokininy często mają wpływ na stan aparatów szparkowych (Suntakumari i Fletcher 1984; Dood 2003) oraz wzrost (Lechowski 1997; Saibo i in. 2003). Hormony zależnie od warunków środowiska wykazują zróżnicowaną reakcję na indeks szparkowy (Pospíšilová 2003). Wielu autorów dowodzi, że syntetyczne auksyny i cytokininy wpływają na otwieranie aparatów szparkowych usprawniając przewodność szparkową, a tym samym i intensywność asymilacji i transpiracji, co potwierdzają Gupta i in. (1999) i Pospíšilová (2003) na roślinach grochu. Zdaniem Schroedera i in. 2001 otwieranie aparatów szparkowych powodowane jest przez czerwone i niebieskie promieniowanie fotosyntetyczne, prawdopodobnie przy udziale auksyny i cytokininy, które aktywują pompę protonową zawierającą H⁺-ATPazy.

W literaturze jest niewiele doniesień o zmiennej liczbie aparatów szparkowych, bądź ich wielkości po zastosowaniu syntetycznych hormonów oraz zależności pomiędzy tymi cechami, jednak niektórzy autorzy donoszą o istotnej zależności pomiędzy wymianą gazową, a liczbą aparatów na jednostce powierzchni liścia, co zostało potwierdzone u soi, truskawki oraz miotły indyjskiej (Luquez i in. 1997; Kumdu i Tigerstend 1998; Klamkowski i in. 2008).

Pospíšilová (2003) jednak podaje, iż reakcja aparatów szparkowych na egzogenne hormony może być zależna od koncentracji danego hormonu. Zbyt wysokie stężenie powoduje zahamowanie otwierania aparatów szparkowych, a przez to wymianę gazową liści (Rulcová i Pospíšilová 2001; Dood 2003).

Inną ważną właściwością syntetycznych regulatorów wzrostu jest modyfikowanie zawartości barwników asymilacyjnych w liściach (Brar i Singh. 1985; Harsharn i Gill 1985; Clarke i in. 1994; Grzyś i in. 2008; Nahar i Ikeda 2002; Pandey i in. 2003; Costa i in. 2005). Opinie o wpływie hormonów na zawartość barwników asymilacyjnych są różne. Na syntezę

chlorofilu w liściach mają wpływ egzogenne cytokininy i auksyny, co było obserwowane u soi, bawełny, kapusty, papryki, jęczmienia (Arnold i Fletcher 1986; Aldesuquy 2000; Galdallah 2000; Ahmad i Thomas 2001; San-Francisco i in. 2005). Niektórzy autorzy wykazują, iż syntetyczne hormony roślinne zapobiegają rozpadowi chlorofilu w liściach opóźniając ich starzenie (Downs i in. 1997; Skutnik i in. 1999, 2004), a przez to znaczne obniżenie asymilacji CO₂ (Kolchevskii i in. 1995). W przypadku soi zbyt szybkie starzenie się liści znacznie ogranicza plon roślin, zaś pierwszym symptomem starzenia się jest degradacja chlorofilu i wzrost koncentracji kwasu abscysynowego w liściach (Joyce i in. 1980; Huang i Wang 2000), a także zwiększenie aktywności enzymów uczestniczących w rozkładzie chlorofilu, tj. chlorofilazy i dechaleazy magnezowej (Matile i in. 1996). Costa i in. (2005) donoszą, że po zastosowaniu egzogennej cytokininy na kapustę znacznie zmniejsza się aktywność chlorofilazy i dechaleazy magnezowej w liściach przy jednocześnie wysoko utrzymanej zawartości chlorofilu.

Powierzchnia asymilacyjna roślin ma wpływ na wydajność fotosyntetyczną i produkcję suchej masy (Aldesuquy 2000). Regulatory wzrostu roślin wpływają w różny sposób na cechy biometryczne roślin, co potwierdzają różne badania w literaturze przedmiotu. Niektórzy autorzy donoszą o zwiększeniu powierzchni asymilacyjnej po opryskiwaniu syntetycznymi auksynami i cytokininami liści pszenicy (Aldesuquy 2000), kapusty (Khan i in. 2002) oraz liczby liści na roślinach lili (Pal i Das 1990), kapusty (Khan i in. 2002). Natomiast Nahar i Ikeda (2002) donoszą o zmniejszeniu powierzchni asymilacyjnej roślin soi po opryskaniu ich syntetyczną auksyną.

Jakość odżywcza roślin strączkowych zależy od zawartości pierwiastków, które pełnią ważne funkcje żywieniowe (Lampart-Szczapa 1997). Na skład chemiczny nasion roślin strączkowych wpływa wiele czynników, przy czym może on być modyfikowany warunkami pogodowymi panującymi w okresie wegetacji (Pisulewska 1997) oraz zmiennością genetyczną (Quiñtana i in. 1999; Moraghan i in. 2006). Fitohormony mają zdolność przyciągania substancji pokarmowych do miejsca, gdzie się tworzą (Nowak i Czapla 1991; Górecki i in. 1997; Nowak i in. 1997; Czapla i in. 2003). Według Svensona (1991), Meuwlyego i Pileta (1991), Nowaka i Wierzbowskiej (1991) oraz Aliego i in. (2008) hormony roślinne są czynnikami uczestniczącymi w regulacji dystrybucji substancji pokarmowych poprzez wpływ na wzrost elongacyjny korzeni, co wiąże się z intensywniejszym pobieraniem składników pokarmowych z gleby. Wraz z rozwojem systemu korzeniowego po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu, wzrasta pobieranie przez niego składników pokarmowych z gleby (Nowak i Cićko

1991). Starck (1998) podaje, iż największy wpływ odgrywają tutaj auksyny, które są sygnałami informującymi o przebiegu procesów fizjologicznych w akceptorach, i wzrastającym zapotrzebowaniu na substancje pokarmowe, przez co je przyciągają. Wśród ogromnej ilości pobranych składników pokarmowych z gleby przez system korzeniowy, bardzo ważne jest, aby jak największa ich część odtransportowana została w okresie starzenia się organów wegetatywnych do nasion, co podnosi ich wartość biologiczną (Nowak i in. 1997). Nasiona roślin strączkowych, w tym soja są bogatym źródłem wapnia, fosforu i potasu w żywieniu człowieka (Duranti i Gius 1997; Frosard i in. 2000; Boros 2002). Pierwiastki te są niezmiernie ważne w naszej diecie, ponieważ mają znaczenie w przemianach ustrojowych, biorąc aktywny udział w reakcjach enzymatycznych zachodzących w organizmie człowieka (Weaver i Plavecki 1994; Rewerski 1999; Quintana i in. 1999; Moraghan i in. 2006). Literatura podaje różne, często sprzeczne informacje o wpływie egzogennych regulatorów wzrostu na zawartość pierwiastków mineralnych, co jest również w dużym stopniu uzależnione od warunków uprawy, czynników klimatycznych oraz pochodzenia i odmiany roślin strączkowych (Makarska i Michalik 2003). Klasa i in. (1996) i Nowak i in. (1997) donoszą o zwiększeniu makroelementów w nasionach bobiku po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu, z kolei Wierzbowska (2006), Czapla i in. (2003) oraz Prusiński i Borowska (2002) po opryskaniu soi, łubinu oraz pszenicy egzogennymi regulatorami wzrostu nie stwierdzili zwiększenia makroelementów w nasionach.

Na wartość biologiczną nasion roślin strączkowych ma wpływ również zawartość azotanów (NO_3). Haynes i Goh (1978) podają, iż azotany są często większym źródłem osiągalnego azotu dla większości roślin, ponieważ jest to lepiej przyswajalna forma azotu w porównaniu do formy amonowej (NH_4). Jednak duża akumulacja azotanów w roślinach jest niekorzystna i stanowi duży problem przy ocenie wartości plonu (Van der Bonn i in. 1990). Malinowska i in. (2007) twierdzi, że przy nadmiernym pobieraniu z gleby związków azotowych, następuje ich kumulacja w roślinach, zaś zawartość azotanów w nasionach różnych roślin strączkowych może być bardzo zróżnicowana, w zależności od gatunku.

W żywieniu ludzi wysoka jakość białka ma duże znaczenie (Święcicki i in. 2007). Najważniejszym składnikiem nasion roślin strączkowych jest białko które jest cenne ze względu na zawartość niezbędnych aminokwasów (Friedman i Brandon 2001), a przy wzrastającej populacji ludzkiej zapotrzebowanie na pełnowartościowe białko będzie rosło (Yazzie i in. 1994; Osman 2004). Skład aminokwasowy charakteryzuje wartość biologiczną nasion, przy czym im jest ich więcej, tym cenniejsze jest białko soi (Sexton i in. 1998; Sexton i

Shibles 1999). Do bardzo cennych i niezbędnych aminokwasów zaliczmy aminokwasy siarkowe tj. cysteinę i metioninę (Chronis i Krishnan 2004). Ich deficyt wpływa ujemnie na strawność białka i ogranicza jego wartość odżywczą (McVey i in. 1995; Burton 1997; Lampart–Szczała 1997). Wzrost zawartości siarki zawartej w aminokwasach siarkowych białka sojowego polepsza wartość odżywczą nasion tej rośliny (Li i in. 2005). Pickering i Reis (1993) dowodzą, iż aminokwasy siarkowe są aminokwasami determinującymi rozwój ludzi i zwierząt, dlatego też są wskazane za niezbędne w diecie. Ponadto odgrywają niezmiernie ważną rolę w metabolizmie (Leutek i in. 2000; Droux 2004). Niedobór siarki jest przyczyną obniżenia jakości białka sojowego (Gayler i Sykes 1985). Zawartość aminokwasów siarkowych w częściach wegetatywnych soi jest źródłem do syntezy i gromadzeniu protein w nasionach (Sexton i in. 1998; Sunarpi i Anderson 1998).

W prowadzonych badaniach przez Sunarpi i Andersona (1997) nad równowagą zawartości siarki w strąkach soi wykazano, że więcej niż połowa jej ilości w nasionach była transportowana podczas wypełnienia nasion. Białko sojowe jest często niedostateczne w aminokwasy siarkowe, szczególnie metioniny (Rogalska-Niedźwiedz 2000), której zawartość średnio wynosi 1-2%, zaś wymagana norma minimalna wynosi 3-5% (Dinkins i in. 2001 za Nielsen 1996). Wzrost zawartości aminokwasów siarkowych uzyskiwany jest np. w uprawie soi transgenicznej (Dinkins i in. 2001; Li i in. 2005). Jednak rośliny genetycznie modyfikowane wciąż budzą wiele kontrowersji, co zmusza badaczy do poprawy wartości biologicznej białka sojowego innymi sposobami. W literaturze mało jest doniesień na temat zawartości aminokwasów siarkowych w nasionach roślin strączkowych po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu. Dostępne prace dotyczą najczęściej oceny zawartości białka ogólnego w nasionach (Prusiński i Borowska 2002).

Regulacja hormonalna zajmuje jedno z centralnych miejsc w całokształcie procesów determinujących rozwój rośliny i jej reakcje na bodźce pochodzące ze środowiska (Kacperska 1995; Lewak 1995). Wrażliwość roślin na substancje wzrostowe jest zróżnicowana, a wywołane zmiany zależą od stężenia tych substancji, stadium rozwojowego rośliny oraz warunków środowiska (Skalska 1992; Klasa i in. 1996). Na aktywność fizjologiczną regulatorów wzrostu ma duży wpływ temperatura powietrza. W wysokiej temperaturze regulatory wzrostu są szybciej pobierane i przemieszczane w roślinie, co zwiększa ich skuteczność. Do większej efektywności tych związków przyczynia się także większa ilość światła, która bezpośrednio oddziałuje na skuteczność regulatorów rozwoju prawdopodobnie poprzez wpływ na intensywność fotosyntezy (Jankiewicz 1997).

Skuteczność działania regulatorów wzrostu zależy od właściwego ich stosowania, a przede wszystkim od odpowiedniego ich stężenia (Grzywińska-Rapca 1996; Pospíšilová i in. (2001, 2003) oraz sposobu aplikacji danego preparatu (Jankiewicz 1997). Pospíšilová i in. (2001, 2003) po zastosowaniu syntetycznych cytokinin na rośliny grochu w formie oprysku obserwowała wzrost transpiracji, natomiast po zanurzeniu korzeni roślin w takim samym stężeniu jej spadek. Odpowiedzią na zróżnicowane stężenie cytokinin jest reakcja aparatów szparkowych. Według Pospíšilovej (2001, 2003) syntetyczna cytokinina zastosowana na rośliny buraka cukrowego w małym stężeniu powoduje otwieranie aparatów szparkowych i tym samym wzrost wymiany gazowej, natomiast w dużym stężeniu powoduje ich przemykanie i ograniczenie wzrostu rośliny.

Dzięki badaniom w ostatnich latach wiedza dotycząca syntetycznych substancji wzrostowych bardzo się wzbogaciła. Wciąż odkrywane są nowe, aktywne fizjologicznie substancje. Określa się zakres i sposób ich działania, a także dokładniej poznaje się skomplikowane oddziaływanie poznanych wcześniej regulatorów (Jankiewicz 1997).

Biorąc pod uwagę perspektywy stosowania regulatorów wzrostu stale podkreśla się istniejącą konkurencję między ich stosowaniem, a hodowlą związaną z nasilającymi się osiągnięciami biologii molekularnej (Jankiewicz 1997). Jednak pomimo możliwości jakie oferuje inżynieria genetyczna, należy zwrócić uwagę na inne formy „ulepszania” wydajności i wartości odżywczej roślin, szczególnie przy stale wzrastającej tendencji do spożywania tzw. „zdrowej żywności”. Stosowanie substancji naturalnie występujących w roślinach w formie preparatów egzogennych może być szybszym i skuteczniejszym rozwiązaniem problemu (Cutting i Wolstenholm 1993; Basak 2002).

Celem przeprowadzonych badań była ocena skuteczności oddziaływania egzogennych regulatorów wzrostu, tj. auksyny i cytokininy, stosowanych oddzielnie oraz w postaci mieszaniny tych związków na aktywność fizjologiczną, plonowanie i wartość biologiczną trzech polskich odmian soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr). Do realizacji celu badań określono szczegółowo:

- wartość wybranych cech biometrycznych i fizjologicznych soi zwyczajnej,
- korelacje pomiędzy parametrami wymiany gazowej, a plonowaniem soi zwyczajnej,
- zawartość cennych żywieniowo makroelementów i aminokwasów siarkowych w nasionach jako wskaźniki wartości biologicznej plonu.

2. Materiał i metody badań

2.1. Charakterystyka materiału roślinnego i regulatorów wzrostu

Obiekt badań stanowiły trzy polskie odmiany soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr.) – Aldana, Progres i Jutro, wyhodowane w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie.

Odmiana Progres została wpisana do rejestru odmian oryginalnych w 1981 roku. Jest odmianą najwcześniejszą wśród polskich znanych odmian. Rośliny są niskie, kwitną na fioletowo, natomiast nasiona duże, żółte z brązowym znaczkim. Aldana została wpisana do rejestru odmian oryginalnych w 1992 roku. Charakteryzuje się pośrednim typem wzrostu, wszechstronnie użytkowa, średniowczesna, równomiernie dojrzewająca. Kwiaty są koloru fioletowego, nasiona kulistospłaszczone, żółte z brązowym znaczkim. Odmiana Jutro została zarejestrowana w 1995 roku. Jest odmianą średniopóźną, wysoką, kwitnącą fioletowo, o dużych żółtych nasionach z jasno brązowym znaczkim (Boros, 2002).

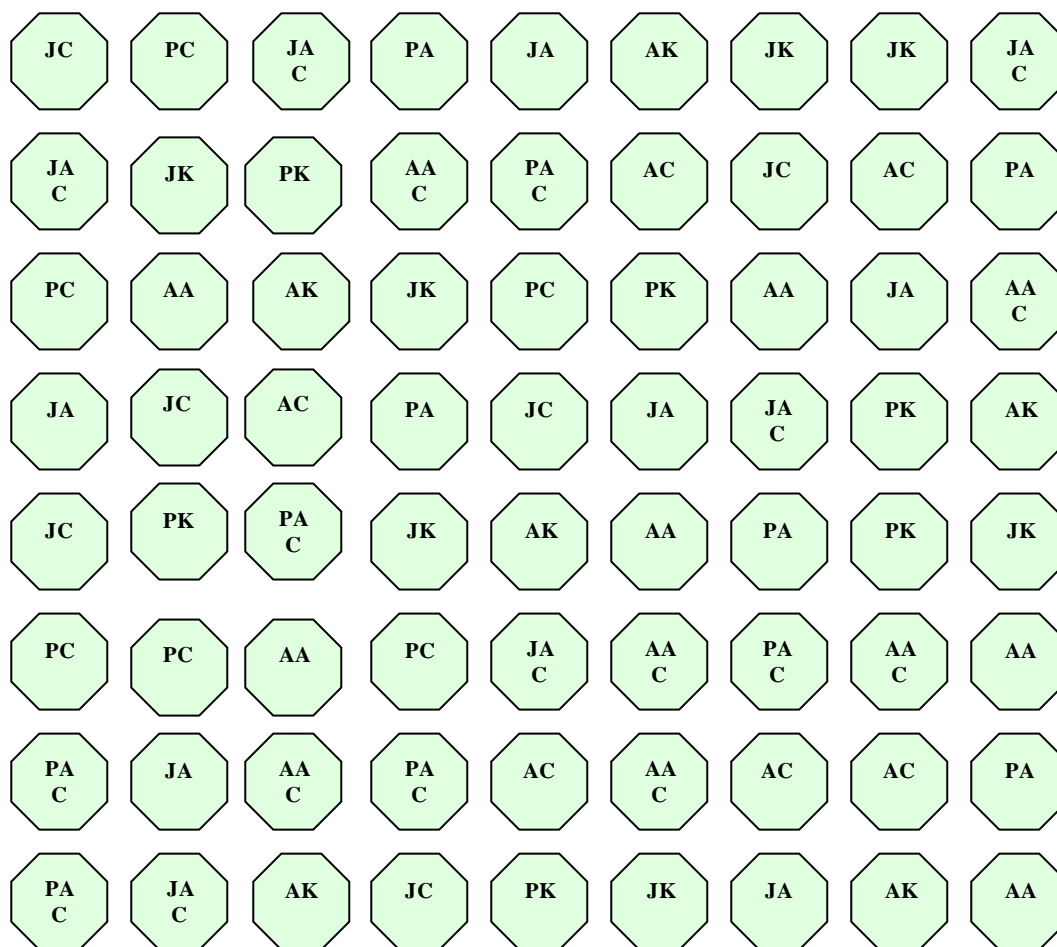
W doświadczeniu wykorzystano syntetyczne regulatory wzrostu: kwas indolilo-3-masłowy (IBA) stanowiący syntetyczną auksynę; 6-benzylaminopurynę (BAP), należącą do grupy syntetycznych cytokinin oraz ich mieszaninę (IBA+BAP). Obydwa regulatory wzrostu pochodzą z Sigma-Aldrich Sp.z.o.o. z Poznania.

Stężenie i rodzaj regulatora wzrostu wybrano na podstawie doświadczenia wazonowego, przeprowadzonego w roku 2006 z wykorzystaniem różnego rodzaju regulatorów wzrostu w różnych stężeniach.

2.3. Doświadczenie wazonowe

2.3.1. Metodyka założenia i prowadzenia doświadczenia

W latach 2007–2008 w Hali Wegetacyjnej Akademii Rolniczej w Szczecinie przeprowadzono dwuletnie doświadczenie wazonowe. Dwuczynnikowe doświadczenie zostało założone w układzie kompletnej randomizacji (całkowicie losowym), w sześciu powtórzeniach z obiektem kontrolnym. Całość stanowiła 72 wazonów, po sześć wazonów w każdym wariancie i 4 rośliny w jednym wazonie. Pierwszym czynnikiem doświadczenia były odmiany soi, zaś drugim regulator wzrostu. Schemat doświadczenia przedstawia rys. 1, fot. 1.



Rys. 1. Schemat doświadczenia wazonowego zastosowanego w Hali Wegetacyjnej Akademii Rolniczej w Szczecinie w latach 2007 i 2008.

Objaśnienia symboli:

- JK** – odm. Jutro – kontrola,
- JA** – odm. Jutro – auksyna,
- JC** – odm. Jutro – cytokinina,
- JAC** – odm. Jutro – auksyna + cytokinina,
- PK** – odm. Progres – kontrola,
- PA** – odm. Progres – auksyna,
- PAC** – odm. Progres – auksyna + cytokinina,
- AK** – odm. Aldana – kontrola,
- AA** – odm. Aldana – auksyna,
- AC** – odm. Aldana – cytokinina,
- AAC** – odm. Aldana – auksyna + cytokinina.



Fot. 1. Wazonowe doświadczenie za łożone w Hali Wegetacyjnej AR w Szczecinie.

Wazony napełniono glebą po 8 kg. Gleba wykorzystana w doświadczeniu stanowiła piasek gliniasty średnioziarnisty. (wg. PN-R-04033 z roku 1998, s.5) III klasy bonitacyjnej, pobranej z poziomu ornopróchnicznego. Charakteryzowała się ona bardzo wysoką zawartością przyswajalnego fosforu, magnezu; wysoką – potasu, miedzi, cynku, natomiast średnią – boru i manganu (Obojski, 1995), żelaza (IUNG, 1990) – tab. 1.

Tabela 1. Właściwości i skład chemiczny gleby.

Odczyn pH w KCL	Próchnica [%]	C_{org} [g·kg ⁻¹]	Sucha masa [%]	Wilgotność [%]	Zawartość N [mg·kg ⁻¹ s.m.]		Zawartość makroelementów (składnika dostępnego) [g·kg ⁻¹ s.m.]			Zawartość mikroelementów ogółem [mg·kg ⁻¹ s.m]				
					N-NO ₃	N-NH ₄	P	K	Mg	B	Mn	Cu	Zn	Fe
7,0	3,0	17,2	88,9	11,8	1,4	63,6	0,49	0,15	0,10	2,3	195	8,9	22,9	1571

W każdym roku stosowano stałe żywienie roślin azotem (0,5 g N na wazon w formie NH₄NO₃); fosforem (0,60 g P na wazon w formie KH₂PO₄); potasem (1,0 g K na wazon w formie K₂SO₄), oraz magnezem (0,5 g Mg na wazon w formie MgSO₄). Nawozy te wymieszano z glebą w trakcie napełniania wazonów. Żywienie roślin w tej samej ilości powtórzono pogłównie pod koniec czerwca. Nasiona soi trzech odmian wysiewano każdego roku w połowie maja, gdy średnia temperatura powietrza przekroczyła 10°C, na głębokość 4-5 cm. Po wykiełkowaniu nasion, do dalszych badań pozostawiono po 4 reprezentatywne rośliny w każdym wazonie. Każdego roku podczas wegetacji soi wykonano dwukrotnie oprysk regulatorami wzrostu w następujących stężeniach: auksyna (kwas indolilo-3-masłowy, IBA) - 30 mg·dm⁻³; cytokinina (6-benzyloaminopuryna, BAP) - 30 mg·dm⁻³; auksyna + cytokinina (IBA+BAP) - 30 + 30 mg·dm⁻³. Pierwszy oprysk wykonano, gdy rośliny osiągnęły wysokość około 20 cm (stadium liści trójdzielnie złożonych). W pierwszym roku przypadło to na 10-12 czerwca, natomiast w drugim roku na 6-10 czerwca. Drugi oprysk wykonano na początku fazy kwitnienia (około 10 lipca – pierwszy rok i ok. 9 lipca – drugi rok). Rośliny

kontrolne opryskano wodą destylowaną. Rośliny opryskiwano do całkowitego zroszenia, zużywając około 20 dm³ cieczy roboczej na wazon.

Rośliny każdego roku były regularnie podlewane oraz odchwaszczane mechanicznie.

2.3.2. Metody pomiarów cech biometrycznych i fizjologicznych

Podczas dwóch sezonów wegetacyjnych dokonano następujących pomiarów biometrycznych roślin soi:

- wysokość roślin,
- liczba liści na roślinie,
- powierzchnia asymilacyjną liści z jednej rośliny,
- plon roślin, obejmujący liczbę strąków na jednej roślinie, świeżą i suchą masę strąków oraz nasion z jednej rośliny.

Wysokość roślin mierzono linijką sześciokrotnie podczas okresu wegetacji roślin w dziesięciodniowych odstępach czasu, rozpoczynając od dziesiątego dnia wegetacji. Liczbę liści oraz powierzchnię asymilacyjną (w cm²) określano zawsze w początkowej fazie zawiązywania strąków (trzeciej dekadzie lipca) na 6 roślinach z każdego wariantu. Do pomiaru powierzchni asymilacyjnej liści, której wykorzystano analizator Delta-T Image Analysis System (DIAS, Delat-T Devices Ltd., Cambridge, Wielka Brytania), połączony z komputerem typu PC.

Suchą masę strąków i nasion oznaczono na podstawie wagi materiału roślinnego wysuszonego w suszarce przez 48 h w temperaturze około 105 °C.

Pomiary parametrów fizjologicznych obejmowały:

- intensywność asymilacji CO₂ (A),
- intensywność transpiracji (E),
- przewodnictwo szparkowe H₂O (g_s),
- stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i),
- zawartość chlorofilu a+b (całkowitego) i karotenoidów.

Wszystkie pomiary fizjologiczne były wykonywane trzykrotnie w każdym sezonie wegetacyjnym, w pięciu powtórzeniach. Pierwszy pomiar został wykonany w stadium 2 węzłów z całkowicie rozwiniętymi liśćmi (wysokość roślin ok. 20 cm, co przypadało trzy dni po wykonanym pierwszym oprysku regulatorami wzrostu). Drugi pomiar wykonano trzy dni po drugim oprysku (początek kwitnienia), natomiast trzeci pomiar w fazie zawiązywania strąków. Pomiary wymiany gazowej i zawartości barwników asymilacyjnych wykonywano na

tych samych liściach. Do pomiarów tych wybierano młode dobrze rozwinięte liście z drugiego piętra, licząc od góry rośliny. Pomiar wykonywano w środkowej części blaszki liściowej. Do oznaczenia wymiany gazowej (natężenia asymilacji i transpiracji, przewodności szparkowej oraz stężenia CO₂ w przestworach międzykomórkowych) użyto gazoanalyzeru typu TPS-2 z kamerą PLC-4 (PP System, USA), pracującego w układzie otwartym. Podczas pomiaru komora z liściem była umieszczona pod lampą halogenową emitującą światło białoczerwone o natężeniu oświetlenia (PAR) ok. 1000 μmol·m⁻²·s⁻¹. Pomiar stężenia dwutlenku węgla (c_i) odbywał się na zasadzie jego pochłaniania w podczerwieni (4,26 μm). Natężenie fotosyntezy obliczono jako iloraz stężenia dwutlenku węgla pochłoniętego przez liść w określonym czasie w kamerze pomiarowej i wartości powierzchni liścia. Natężenie transpiracji obliczono na podstawie wskazań pojemnościowego czujnika wilgotności (Kalaji, Skórska 2007), fot. 2.



Fot. 2. Gazoanalyzer TPS-2 wykorzystany do pomiarów wymiany gazowej.

Zawartość chlorofilu mierzono metodą Arnona i wsp. (1956) w modyfikacji Lichtenthalera i Welburna (1983), zaś zawartość karotenoidów metodą Hagera i Mayera-Berthenratha (1966). Próbkę zielonej masy o wadze ok. 0,05 g pobierano korkoborem i ucierano je z 10 ml 80 % roztworu acetonu w celu ekstrakcji barwników. Następnie materiał

wirowano w temperaturze pokojowej przez 10 min przy 2500 obrotach·min⁻¹. Gęstość optyczną supernatantów oznaczono za pomocą spektrofotometru Marcel Mini przy długości fal: 440, 465 i 663 nm. Następnie wyniki obliczono według wzorów:

- zawartość chlorofilu a:
$$[12,7(E\ 663)-2,69(E645)] \times \frac{v}{w}$$
- zawartość chlorofilu b:
$$[22,9(E645)- 4,68(E663)] \times \frac{v}{w};$$
- zawartość chlorofilu a+b
$$[20,2(E645) + 8,02(E663)] \times \frac{v}{w};$$
- zawartość karotenoidów:
$$[4,16(E440) - 0,89(E663)] \times \frac{v}{w};$$

gdzie:

- E – ekstynkcja przy określonej długości fali;
- v – ilość cm³ 80% acetonu użytego do ekstrakcji;
- w – masa próbki w gramach.

Pomiary aparatów szparkowych obejmowały liczbę aparatów szparkowych na 1mm² dolnej i górnej epidermy blaszki liściowej, długość i szerokość aparatów szparkowych oraz długość szczeliny szparkowej.

Parametry aparatów szparkowych wykonywano po drugim oprysku roślin, w II dekadzie lipca, wybierając liście, na których wykonywano pomiary wymiany gazowej. Użyto do tego celu mikroskopu optycznego Olipmus CX 41 oraz programu do komputerowej analizy obrazu DP – soft. Preparaty do obserwacji przygotowywano izolując epidermę ze środkowej części górnej i dolnej blaszki liściowej, wykonując, tzw. preparaty świeże (Braune i in. 1975) na 5 liściach z każdego wariantu. Wszystkie pomiary wykonano przy 400x powiększeniu.

2.3.3. Metodyka analiz chemicznych

Po zbiorze plonu soi wykonano analizy chemiczne nasion celem oznaczenia ich wartości biologicznej. Oznaczono zawartość makropierwiastków tj.: potasu, wapnia, magnezu, sodu; fosforu; azotu azotanowego N-NO₃ oraz zawartość aminokwasów siarkowych tj. cysteiny i metioniny.

Do oznaczenia składu chemicznego i zawartości aminokwasów, wysuszone nasiona zmielono. Zawartość pierwiastków mineralnych, azotanów oraz aminokwasów siarkowych oznaczono w trzech powtórzeniach z każdego wariantu doświadczenia.

Do oznaczenia potasu, wapnia, magnezu, sodu, fosforu przygotowany materiał zmineralizowano w mieszaninie kwasów azotowego (V) i chlorowego (VII) w proporcji 3:1, przez 24 godz. Zawartość fosforu ogólnego oznaczano metodą wandowo – molibdenową przy użyciu spektrofotometru Specol. Potasu, sodu wapnia i magnezu metodą ASA, zaś azotany metodą salicylową przy użyciu spektrofotometru Specol. Aminokwasy siarkowe oznaczono jako oksydowane pochodne (kwas cysteinowy i sulfon metioniny) uzyskane po utlenieniu próbki kwasem nadmanganowym przez 16 godz. w temp. 4°C. Białka uwolniono podczas kwaśnej hydrolizy przez 24 godz. w temp. 110°C w 6-molowym HCL. Hydrolizaty analizowano metodą chromatografii jonowymiennej, przy użyciu automatycznego analizatora aminokwasów (AAA400).

2.4.3. Oznaczenie faz rozwojowych

Fazy rozwojowe trzech odmian soi zostały określone za pomocą klucza wdł. Hanwaya i Thompsona (1971) podającego stadia rozwojowe soi w skali amerykańskiej. Poszczególne fazy rozwojowe podzielono na grupy oznaczone kodem od 0 do 11, przy czym:

- 0 – okres przed pojawieniem się roślin nad powierzchnią gleby,
- 1- pojawienie roślin nad powierzchnią gleby (wschody),
- 2- stadium liści pojedynczych (2 pojedyncze liście pojawiają się nad liścieniami, wysokość roślin 5-8 cm),
- 3- stadium liści trójdzielnie złożonych (2 węzły z całkowicie rozwiniętymi liśćmi trójdzielnymi, wysokość roślin 15-20 cm),
- 4- stadium 4 węzłów (4 węzły z całkowicie rozwiniętymi liśćmi złożonymi, wysokość roślin 20-25 cm),
- 5- stadium 6 węzłów (6 węzłów z całkowicie rozwiniętymi liśćmi złożonymi, wysokość roślin 30-35 cm),

- 6- początek kwitnienia (pęd główny rozgałęziony, jeden lub więcej kwiatów na 50% roślin w łanie, wysokość roślin 37-45 cm),
- 7- pełnia kwitnienia (wysokość roślin 53-60 cm, liście całkowicie rozwinięte przerastają górny kwiatostan),
- 8- zawiązywanie i rozwój strąków (wysokość roślin 65-70 cm, długość strąków 6 mm na czterech najwyższych węzłach, pełnia kwitnienia),
- 9- rozwój nasion (wysokość roślin 78-85 cm, długość strąków poniżej czwartego węzła 15 mm, początek rozwoju nasion),
- 10- nasiona w pełni wykształcone i fizjologicznie dojrzałe (wysokość roślin 83-92 cm, początek żółknięcia i opadania dolnych liści, szczytowe strąki prawie całkowicie wykształcone, dolne zaczynają żółknąć),
- 11- dojrzałość do zbioru (95% strąków brązowych, liście opadnięte) (Ostrowska i in. za Hanway i Thompson, 1996)

2.4. Metody statystyczne opracowania wyników

Wyniki badań dotyczące parametrów wymiany gazowej, zawartości barwników asymilacyjnych, pomiarów aparatów szparkowych, powierzchni asymilacyjnej, liczby liści, plonu oraz zawartości mikroelementów i aminokwasów siarkowych opracowano statystycznie na podstawie dwuczynnikowej analizy wariancji, natomiast wyniki dotyczące wysokości roślin opracowano wykorzystując jednoczynnikową analizę wariancji.

W celu określenia istotności różnic między średnimi zastosowano przedziały ufności Tukey'a, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ ($NIR_{0,05}$). Średnie wyniki dla efektów głównych zamieszczono w tabelach, natomiast wyniki interakcji między poszczególnymi czynnikami doświadczenia przedstawiono na wykresach, przy czym pionową kreską zaznaczono długości przedziałów ufności.

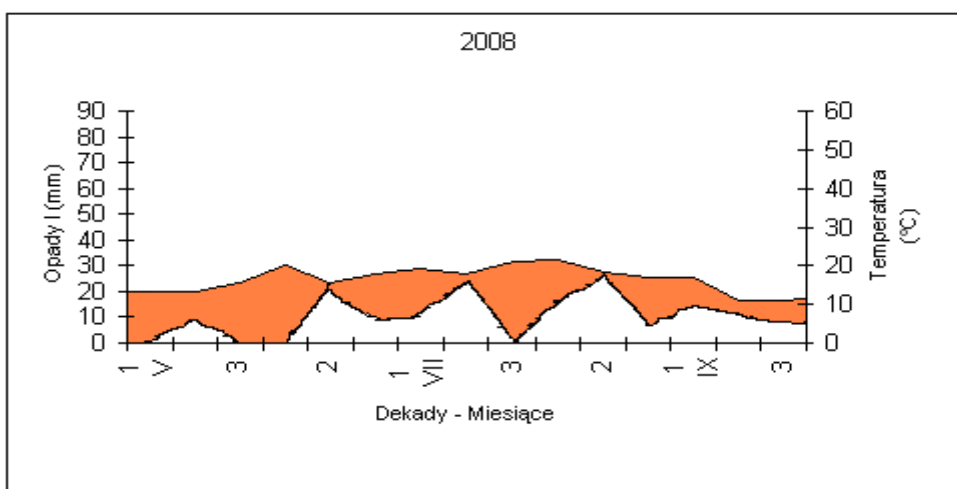
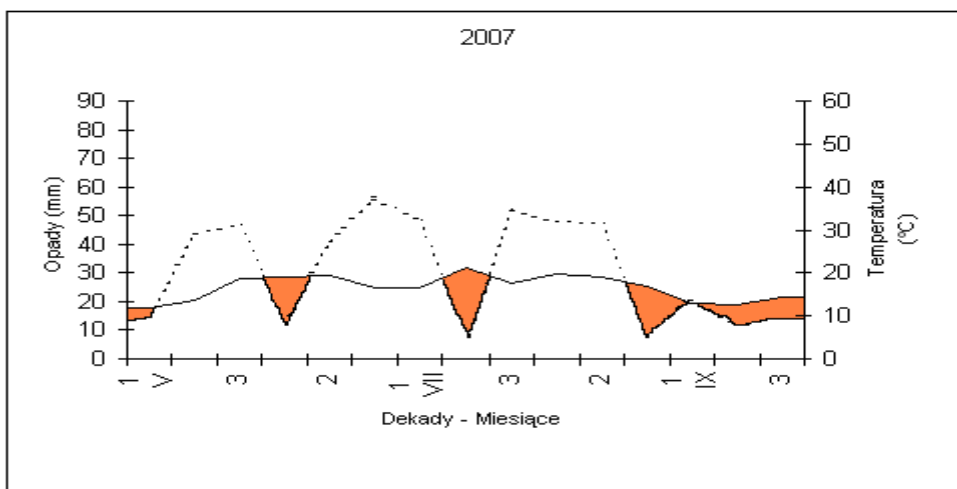
Obliczono również współczynnik korelacji liniowej Pearsona między poszczególnymi parametrami wymiany gazowej oraz między wymianą gazową, a liczbą aparatów szparkowych i długością ich szczelin szparkowych. Gdy współczynnik korelacji między tymi parametrami był istotny – zależności pomiędzy tymi cechami przedstawiono na wykresach. Natomiast istotne zależności pomiędzy parametrami wymiany gazowej a plonem przedstawiono w tabeli, w formie równań regresji prostoliniowej i współczynników korelacji. Wyniki opracowano za pomocą programu *Statistica 6*.

2.5. Warunki metrologiczne

Klimat miasta Szczecina i jego okolic charakteryzuje się dużą zmiennością warunków atmosferycznych, powodowanych najczęściej przemieszczaniem się układów niżowych, zwłaszcza późną jesienią, zimą i wczesną wiosną. Jednym z głównych warunków decydujących o klimacie tego regionu są warunki fizjograficzne (Koźmiński 1993). W województwie zachodniopomorskim sumy opadów oraz usłonecznienie w poszczególnych miesiącach, jak i latach charakteryzują się dużą zmiennością, co przejawia się często niedoborem lub nadmiarem opadów. Duże zróżnicowanie warunków pogodowych znajduje odzwierciedlenie także w wahaniach wielkości usłonecznienia, tj. od 2 do 14 godzin dziennego usłonecznienia w miesiącu czerwcu (Koźmiński i in 2007). Średnia roczna temperatura powietrza w rejonie Szczecina wynosi ok. 8,5°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec, ze średnią wieloletnią temperaturą wynoszącą ok. 17,5°C. Średnia roczna suma opadów w rejonie Szczecina wynosi od 525 do 550 mm, natomiast suma opadów w okresie od czerwca do sierpnia waha się od 180 do 190 mm (Koźmiński i Czarnecka 1993, Czarnecka 1996). W ostatnim 20-leciu dość często obserwowano letnie susze atmosferyczne, szczególnie dotkliwe w południowo-wschodniej części województwa (Koźmiński i in. 2007).

Warunki termiczno-opadowe w układach dekadowych panujące w okresach wegetacyjnych w latach prowadzenia doświadczenia, przedstawiono na klimatogramach (rys. 2) opracowanych wg. Waltera i Lietha (1996) w modyfikacji Gregorczyka (1995).

Rok 2007 był okresem deszczowym z umiarkowaną temperaturą. W roku tym okresy niedoboru opadów wystąpiły trzykrotnie, co miało miejsce w pierwszej dekadzie czerwca, drugiej dekadzie lipca oraz trzeciej dekadzie sierpnia. Były to okresy krótkie, trwające kilka dni. Generalnie cały okres wegetacyjny charakteryzował się bardzo intensywnymi i długo trwającymi opadami, przy czym największą ich sumę odnotowano w trzeciej dekadzie czerwca i trzeciej dekadzie lipca. Rok 2008 był rokiem bardzo suchym. W roku tym w pierwszej i trzeciej dekadzie maja oraz pierwszej dekadzie czerwca odnotowano brak opadu lub minimalny opad, wynoszący zaledwie 0,5 mm, zaś susza na przełomie maja i czerwca trwała 20 dni. W roku 2008 najwyższe opady odnotowano natomiast w drugiej dekadzie czerwca, lipca i sierpnia. Okresy te jednak były krótkie, nieprzekraczające 10 dni (rys. 2).



 - niedobory opadów

Rys. 1. Klimatogramy okresów wegetacyjnych wg Waltera i Lietha (1960), w modyfikacji Gregorczyka (1995), w układzie dekadowym.

Warunki meteorologiczne panujące w latach badań 2007-2008 i w wieloleciu 1961-2000 zestawiono w tabeli nr 2 na podstawie danych meteorologicznych pochodzących ze Stacji Meteorologicznej IMGW w Szczecinie-Dąbiu.

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w latach 2007-2008 na tle średnich wieloletnich dla Stacji Meteorologicznej w Szczecinie-Dąbiu.

Rok	Miesiąc					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Średnia temperatura powietrza [°C]						średnia
2007	15,2	18,3	18,2	18,3	13,6	16,8
2008	14,4	17,6	19,2	18,4	13,6	16,6
1961-2000	12,9	16,2	17,8	17,4	13,6	15,6
Suma opadów [mm]						suma
2007	90,1	150,4	138,9	74,7	56,5	510,6
2008	14,5	28,1	59,2	51,5	45,5	198,8
1961-2000	54,3	58,8	64,6	56,1	45,8	279,3
Usłonecznienie [h]						suma
2007	243,5	203,8	184,0	220,9	131,9	983,3
2008	337,4	294,7	286,6	168,6	124,3	1212,6
1961-2000	247,4	119,6	238,2	229,3	135,6	970,1

W pierwszym roku badań (2007) średnia temperatura powietrza dla okresu wegetacyjnego wynosiła 16,7°C i była wyższa od średniej wieloletniej o 1,1°C. Najchłodniejszym miesiącem w tym okresie był wrzesień, zaś najcieplejszymi czerwiec i sierpień. Oprócz września, wszystkie pozostałe miesiące okresu wegetacyjnego odznaczały się wyższą temperaturą powietrza od średnich wieloletnich. Największą różnicę w stosunku do norm wieloletnich odnotowano w maju i czerwcu, odpowiednio 2,3°C i 2,1°C. Okres wegetacyjny w 2007 roku charakteryzował się znaczną ilością opadów, wynoszącą 510 mm i przekraczającą wieloletnią normę o 213 mm. Wszystkie miesiące tego okresu wegetacyjnego charakteryzowały się większymi opadami w porównaniu z wielolecie. Najbardziej obfitymi opadami charakteryzował się czerwiec, gdzie odnotowano ponad 150 mm, przekraczając sumę opadów w wielolecie prawie 2,5-krotnie oraz lipiec z sumą opadów ok. 140 mm.

Średnie usłonecznienie w okresie wegetacyjnym 2007 było niewiele wyższe od usłonecznienia wielolecia. Najwięcej słonecznych godzin odnotowano w maju i sierpniu (243,5 i 220,9 h). Podobnie było w okresie wieloletnim, odpowiednio 247,4 i 229,3 h. Z kolei czerwiec charakteryzował się zdecydowanie wyższym usłonecznieniem w porównaniu z

wieloleciem. W miesiącu tym liczba godzin słonecznych stanowiła 170% normy. Lipiec charakteryzował się z kolei bardzo niskim usłonecznieniem, stanowiącym ok. 77% normy.

Okres wegetacyjny 2008 charakteryzował się ciepłym i suchym latem. Temperatura we wszystkich miesiącach badanego okresu była wyższa w porównaniu z miesiącami okresu wieloletniego średnio o 1°C. Zdecydowanie najcieplejszym miesiącem w badanym okresie wegetacyjnym był lipiec, w którym średnia temperatura dobową wyniosła 19,2°C i była wyższa od temperatury lipca lat 1961-2000 o ok. 2,5°C. W roku wegetacyjnym 2008 odnotowano bardzo małą ilość opadów, tylko 198,8 mm od maja do września, co stanowiło 71% normy wieloletniej. Szczególnie małymi opadami charakteryzował się maj i czerwiec, odpowiednio 14,5 mm, co stanowiło 26,7% normy oraz 28,1 mm (47,7% normy). Okres wegetacyjny 2008 charakteryzował się wysokim usłonecznieniem, ok. 1212 godzin, co stanowiło ok. 125% normy. Szczególnie słonecznymi miesiącami były maj (337,4 h), czerwiec (294 h) oraz lipiec (286,6 h). Znacznie niższym usłonecznieniem w porównaniu z wieloleciem charakteryzowały się sierpień (ok. 73% normy) i wrzesień (ok. 91% normy).

3. Wyniki

3.1. Fazy fenologiczne soi zwyczajnej

Terminy faz fenologicznych i długości okresów wegetacji badanych odmian soi w latach 2007 i 2008 zamieszczono w tabelach 3 i 4.

Rośliny soi charakteryzowały się długim okresem wegetacji, wynoszącym od 100 do 112 dni w zależności od odmiany i zastosowanego regulatora wzrostu.

W roku 2007 zastosowanie na rośliny regulatorów wzrostu IBA i IBA+BAP przyspieszyły zawiązywanie i rozwój strąków u odmiany Progres średnio o około pięć dni, zaś odmiany Jutro i Aldana średnio o około trzy dni w porównaniu z roślinami kontrolnymi. Wszystkie odmiany opryskiwane IBA i IBA+BAP osiągnęły również szybsze zawiązywanie strąków, rozwój nasion, dojrzałość fizjologiczną oraz dojrzałość do zbioru o ok. 4 dni.

W roku 2008 opryskiwanie roślin IBA i IBA+BAP spowodowało przyspieszenie zawiązywania strąków i rozwój nasion u odmiany Jutro, o około 3 dni, natomiast u odmian Progres i Aldana o około 2 dni. W przypadku tych roślin nastąpiło również skrócenie okresu wegetacji, u odmian Progres średnio o około 2 dni, zaś u odmian Jutro i Aldana – średnio o około 3 dni.

Tabela 3. Terminy faz rozwojowych (Ostrowska i in. (1996) za Hanway'a i Thompson'a 1986) trzech odmian soi zwyczajnej w różnych wariantach doświadczenia. Rok 2007.

Odmiana	Regulator	poszczególne fazy rozwojowe roślin soi												liczba dni
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Jutro	K	15. V.	28. V.	03. VI.	12. VI.	24. VI.	30. VI.	11. VII.	14. VII.	19. VII.	27. VII	17.VIII	03.IX.	111
	IBA	15.V.	28. V.	03. VI.	12. VI.	24. VI.	30. VI.	11. VII.	14. VII.	17. VII.	25. VII	16.VIII	30.VIII.	107
	BAP	15.V.	28. V.	03. VI.	12. VI.	24. VI.	30. VI.	11. VII.	14. VII.	19. VII.	27. VII	17.VIII	03.IX.	111
	IBA+BAP	15. V.	28. V.	03. VI.	12. VI.	24. VI.	30. VI.	11. VII.	14. VII.	17. VII.	25. VII	16.VIII	30.IX.	107
Progres	K	15. V.	27. V.	01. VI.	10. VI.	21. VI.	28. VI.	10.VII.	13. VII.	18. VII.	24.VII	15.VIII	03. IX.	111
	IBA	15.V.	27. V.	01. VI.	10. VI.	21. VI.	28. VI.	10.VII.	13. VII.	13. VII.	20.VII	13.VIII	01. IX.	107
	BAP	15.V.	27. V.	01. VI.	10. VI.	21. VI.	28. VI.	10.VII.	13. VII.	18. VII.	24.VII	15.VIII	03.IX.	111
	IBA+BAP	15. V.	27. V.	01. VI.	10. VI.	21. VI.	28. VI.	10.VII.	13. VII.	15. VII.	22.VII	13.VIII	01. IX.	107
Aldana	K	15. V.	28. V.	03. VI.	10.VI.	21.VI.	28. VI.	10. VII.	14. VII.	18. VII.	23VII.	17.VIII	03. IX.	111
	IBA	15.V.	28. V.	03. VI.	10.VI.	21.VI.	28. VI.	10. VII.	14. VII.	16. VII.	20.VII.	15. VIII	01. IX.	108
	BAP	15.V.	28. V.	03. VI.	10.VI.	21.VI.	28. VI.	10. VII.	14. VII.	18. VII.	23.VII.	17.VIII.	03. IX.	111
	IBA+BAP	15. V.	28. V.	03. VI.	10.VI.	21.VI.	28. VI.	10. VII.	14. VII.	16. VII.	20.VII.	15.VIII	01. IX.	108

K – kontrola, IBA- kwas indolilo-3-masłowy (auksyna), BAP- benzyloaminopuryna (cytokinina), IBA+BAP – mieszanina kwasu indolilo-3-octowego +benzyloaminopuryny (auksyna + cytokinina);

0 – wysiew nasion, 1 – wschody, 2 – stadium liści pojedynczych, 3 – stadium liści trójdzielnie złożonych, 4 - stadium czterech węzłów, 5- stadium sześciu węzłów, 6 – początek kwitnienia, 7 – pełnia kwitnienia, 8 – zawiązywanie i rozwój strąków, 9 – rozwój nasion, 10 – nasiona w pełni wykształcone i fizjologicznie dojrzałe, 11 – dojrzałość do zbioru. Szczegółowe opisy poszczególnych faz fenologicznych, patrz str. 23.

Tabela 4. Terminy faz rozwojowych (Ostrowska i in. (1996) za Hanway'a i Thompson'a 1986) trzech odmian soi zwyczajnej w różnych wariantach doświadczenia. Rok 2008.

Odmiana	Regulator	poszczególne fazy rozwojowe roślin soi												liczba dni
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Jutro	K	16. V.	27.V.	03.VI.	08. VI.	16.VI.	25.VI.	06. VII.	10.VII.	16.VII.	21.VII.	12.VIII.	29.VIII.	105
	IBA	16. V.	27.V.	03.VI.	08. VI.	16.VI.	25.VI.	06. VII.	10.VII.	13.VII.	19.VII.	10.VIII.	26.VIII.	102
	BAP	16. V.	27.V.	03.VI.	08. VI.	16.VI.	25.VI.	06. VII.	10.VII.	16.VII.	21.VII.	12.VIII.	29.VIII.	105
	IBA+BAP	16. V.	27.V.	03.VI.	08. VI.	16.VI.	25.VI.	06. VII.	10.VII.	13.VII.	19.VII.	10.VIII.	26.VIII.	105
Progres	K	16. V.	25.V.	30.V.	06.VI.	13. VI.	25.VI.	03.VII.	07.VII.	11.VII.	20.VII.	11.VIII.	26.VIII.	102
	IBA	16. V.	25.V.	30.V.	06.VI.	13. VI.	25.VI.	03.VII.	07.VII.	09.VII.	17.VII.	09.VIII.	24.VIII.	100
	BAP	16. V.	25.V.	30.V.	06.VI.	13. VI.	25.VI.	03.VII.	07.VII.	11.VII.	20.VII.	11.VIII.	26.VIII.	102
	IBA+BAP	16. V.	25.V.	30.V.	06.VI.	13. VI.	25.VI.	03.VII.	07.VII.	09.VII.	17.VII.	09.VIII.	24.VIII.	100
Jutro	K	16. V.	31.V.	04.VI.	10.VI.	19. VI.	27.VI.	09.VII.	13.VII.	20.VII.	27.VII.	17.VIII.	05.IX.	112
	IBA	16. V.	31. V.	04.VI.	10.VI.	19.VI.	27.VI.	09.VII.	13.VII.	18.VII.	25. VII.	15.VIII.	02.IX.	110
	BAP	16. V.	31.V.	04.VI.	10.VI.	19.VI.	27.VI.	09.VII.	13.VII.	20.VII.	27.VII.	17.VIII.	05.IX.	112
	IBA+BAP	16. V.	31. V	04.VI.	10.VI.	19.VI.	27.VI.	09.VII.	13.VII.	18.VII.	25.VII.	15.VIII.	02.IX.	110

Objaśnienia skrótów i symboli, patrz tabela 3.

3.2. Parametry wymiany gazowej

3.2.1. Asymilacja, transpiracja, przewodność szparkowa oraz stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych liści soi

Pomiary natężenia procesów asymilacji (A), transpiracji (E), przewodności szparkowej (g_s) oraz stężenia dwutlenku węgla w przestworach międzykomórkowych (c_i) przeprowadzono trzykrotnie podczas okresu wegetacji. Średnie wyniki tych pomiarów dla rodzajów regulatorów wzrostu i odmian zamieszczono w tabeli 5, natomiast interakcję między czynnikami przedstawiono na rys. 3-6.

Natężenie procesów wymiany gazowej było zróżnicowane w zależności od roku badań i terminu pomiaru oraz od czynnika doświadczenia.

W roku 2007 najwyższą wartość asymilacji CO₂ obu czynników doświadczenia odnotowano w fazie kwitnienia roślin. W okresie tym wykazano istotne różnice pomiędzy regulatorami wzrostu i odmianami soi. Odmiany Aldana (15,14 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹) i Jutro (14,28 mol·m⁻²·s⁻¹), charakteryzowały się istotnie wyższą asymilacją niż odmiana Progres, średnio o 16-17 %. W przypadku regulatorów wzrostu, stwierdzono, iż soja opryskiwana IBA+BAP asymilowała znacznie intensywniej niż soja opryskana pozostałymi regulatorami wzrostu – tab. 5. W pierwszym i drugim terminie wykazano istotną interakcję (rys. 3). Spośród wszystkich kombinacji doświadczalnych najintensywniejszą asymilacją CO₂ charakteryzowała się odmiana Jutro potraktowana mieszaniną regulatorów wzrostu IBA+BAP. Z kolei IBA i BAP stosowane oddzielnie, spowodowały istotny spadek omawianego procesu u odmiany Progres, w porównaniu z roślinami kontrolnymi odpowiednio o 29 % i 24 %.

W roku 2008, podobnie jak w roku poprzednim, najintensywniej asymilowały rośliny w fazie kwitnienia, zaś najslabiej w fazie rozwoju nasion (tab. 5).

W omawianym roku we wszystkich terminach pomiaru, wykazano istotne różnice między odmianami. Stwierdzono, że Aldana (19,08 μmol·m⁻²·s⁻¹) i Jutro (18,49 μmol·m⁻²·s⁻¹), asymilowały znacznie intensywniej, niż odmiana Progres (16,12 mmol·m⁻²·s⁻¹). Natomiast między zastosowanymi regulatorami wzrostu, istotność różnic wykazano tylko w drugim terminie, tj. w fazie kwitnienia. Okazało się, że każdy z zastosowanych regulatorów miał istotny wpływ na wzrost asymilacji CO₂ w porównaniu z roślinami kontrolnymi, przy czym IBA o ok. 29%, BAP o ok. 24%, zaś mieszanina IBA+BAP o ok. 22%.

Tabela 5. Wielkość wymiany gazowej w liściach trzech odmian soi zwyczajnej po opryskaniu roślin egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007-2008.

Objekt badań		A [$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]			E [$\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]			g_s [$\text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]			C_i [$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$]		
		faza rozwojowa											
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
		Rok 2007											
O	J	13,07	14,28	9,13	2,34	2,48	1,17	0,56	0,69	0,27	302	308	196
	P	11,50	12,33	8,27	2,79	2,28	1,32	0,52	0,52	0,26	302	294	201
	Al	12,61	15,14	8,00	2,71	3,06	1,31	0,55	0,68	0,23	300	293	206
R	K	12,77	14,39	9,11	2,392	2,62	1,23	0,52	0,64	0,21	295	292	199
	IBA	12,38	13,27	8,68	3,057	2,60	1,27	0,55	0,61	0,27	302	298	207
	BAP	11,50	12,99	7,42	2,386	2,58	1,16	0,51	0,59	0,27	303	304	189
	IBA+BAP	12,93	15,03	8,89	2,558	2,64	1,40	0,59	0,67	0,27	305	300	211
NIR _{0,05} dla	O	r.n.	1,354	r.n.	r.n.	0,196	r.n.	r.n.	0,114	r.n.	r.n.	13,9	r.n.
	R	1,379	1,721	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
	OxR	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
		Rok 2008											
O	J	13,38	18,49	4,79	2,96	3,06	0,59	0,28	0,18	0,04	263	180	190
	P	12,30	16,12	4,61	1,37	3,09	0,51	0,11	0,17	0,03	147	181	188
	Al	15,19	19,08	6,90	2,72	2,49	0,87	0,25	0,16	0,07	220	147	187
R	K	13,96	15,02	5,16	2,44	2,65	0,81	0,23	0,15	0,06	202	188	197
	IBA	13,72	19,70	4,75	2,39	3,08	0,68	0,20	0,18	0,05	202	173	208
	BAP	13,49	18,60	5,95	2,23	3,09	0,63	0,19	0,17	0,05	213	159	185
	IBA+BAP	13,13	18,27	5,88	2,34	2,70	0,51	0,23	0,16	0,03	224	157	163
NIR _{0,05} dla	O	1,453	1,939	1,486	0,379	0,449	1,195	0,055	r.n.	0,016	28,5	r.n.	r.n.
	R	r.n.	2,468	r.n.	r.n.	r.n.	0,248	r.n.	r.n.	0,021	r.n.	r.n.	r.n.
	OxR	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.

A – asymilacja CO₂, E – transpiracja H₂O, g_s – przewodność szparkowa, c_i – stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych;

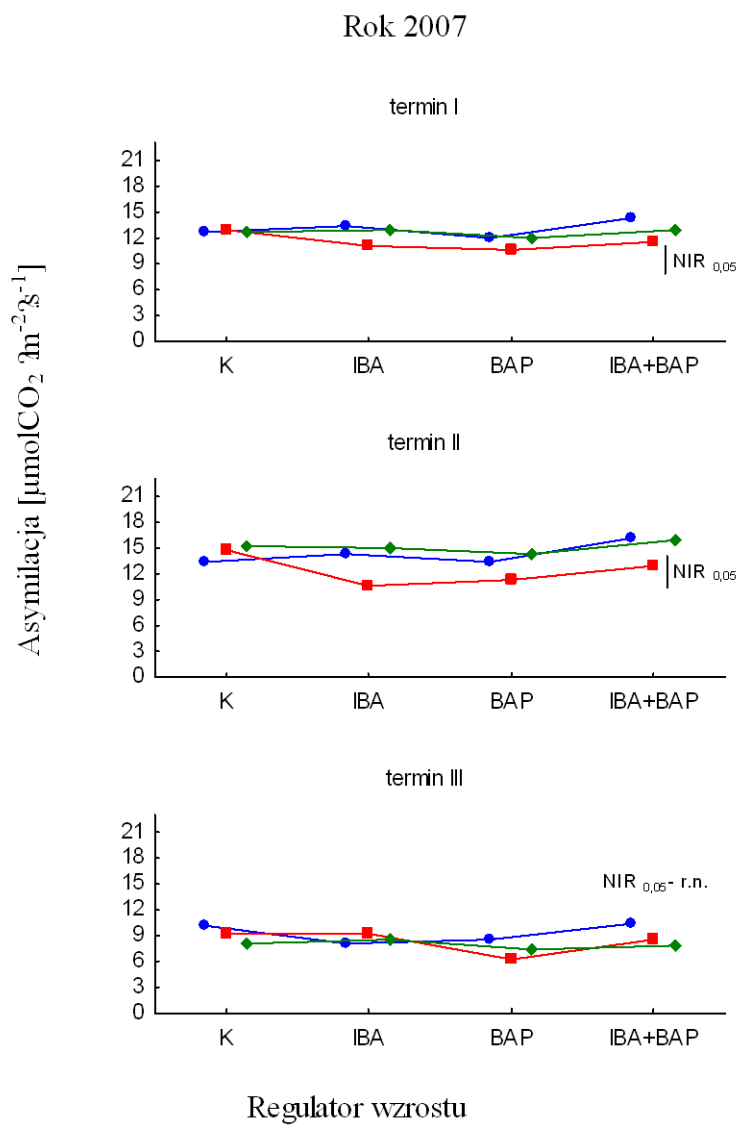
J – odmiana Jutro, P – odmiana Progres, Al – odmiana Aldana;

K – kontrola, IBA – kwas indolilo-3-masłowy (auksyna), BAP – benzyloaminopuryna (cytokinina), IBA+BAP – mieszanina kwasu indolilo-3-octowego + benzyloaminopuryny (auksyna + cytokinina);

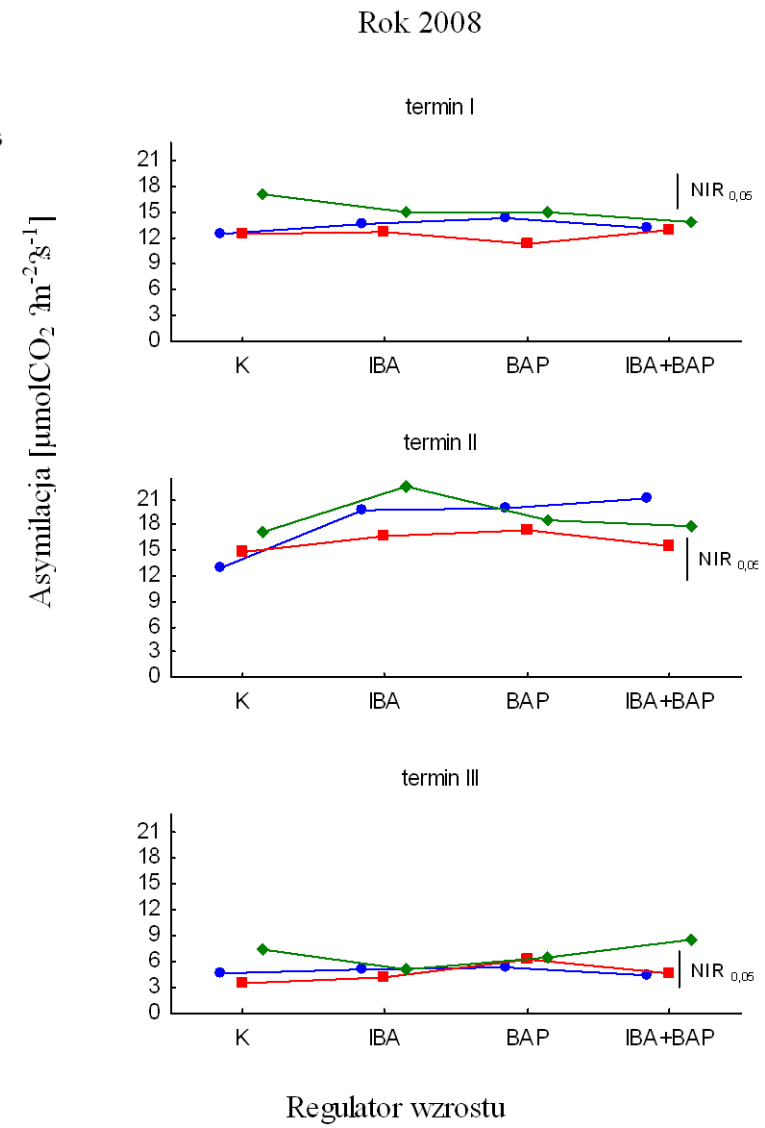
O – odmiana, R – regulator wzrostu;

I – faza liści trójdzielnie złożonych, II – faza kwitnienia, III – faza rozwoju nasion.

r.n. – różnica nieistotna, r.i. – różnica istotna.

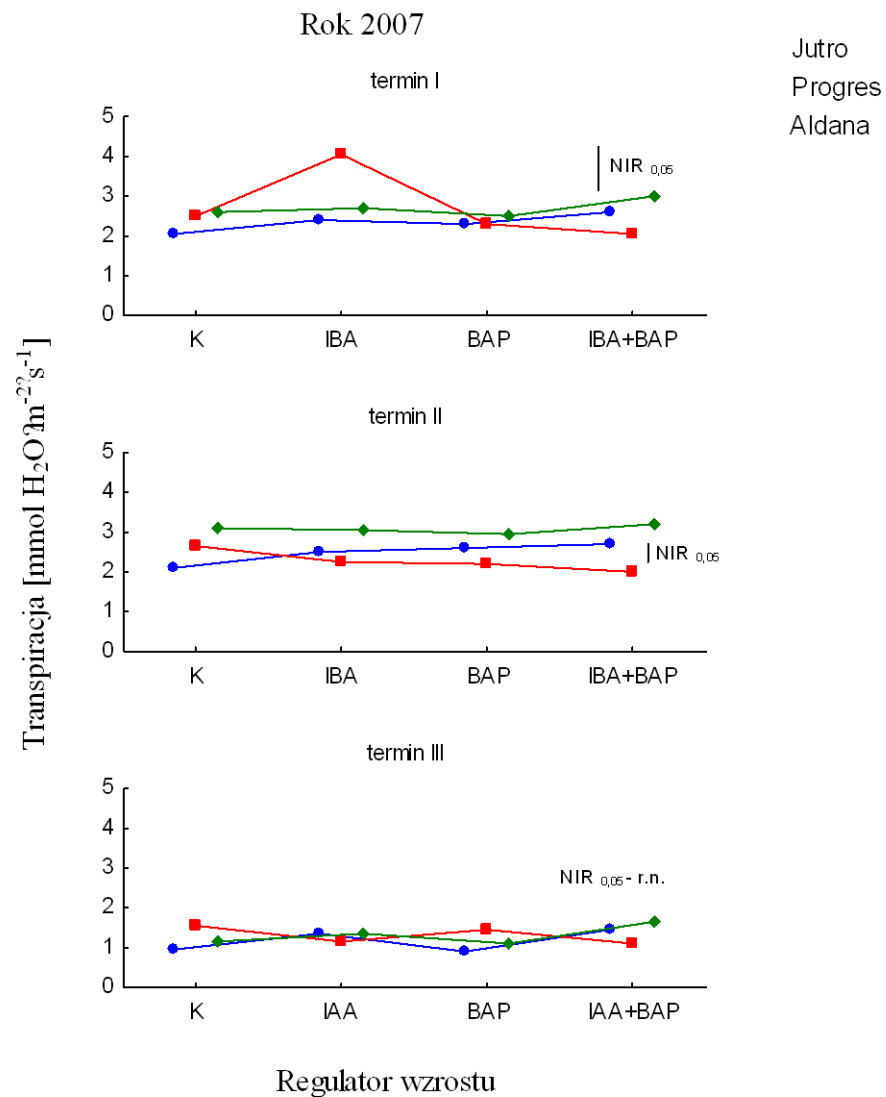


Jutro
Progres
Aldana

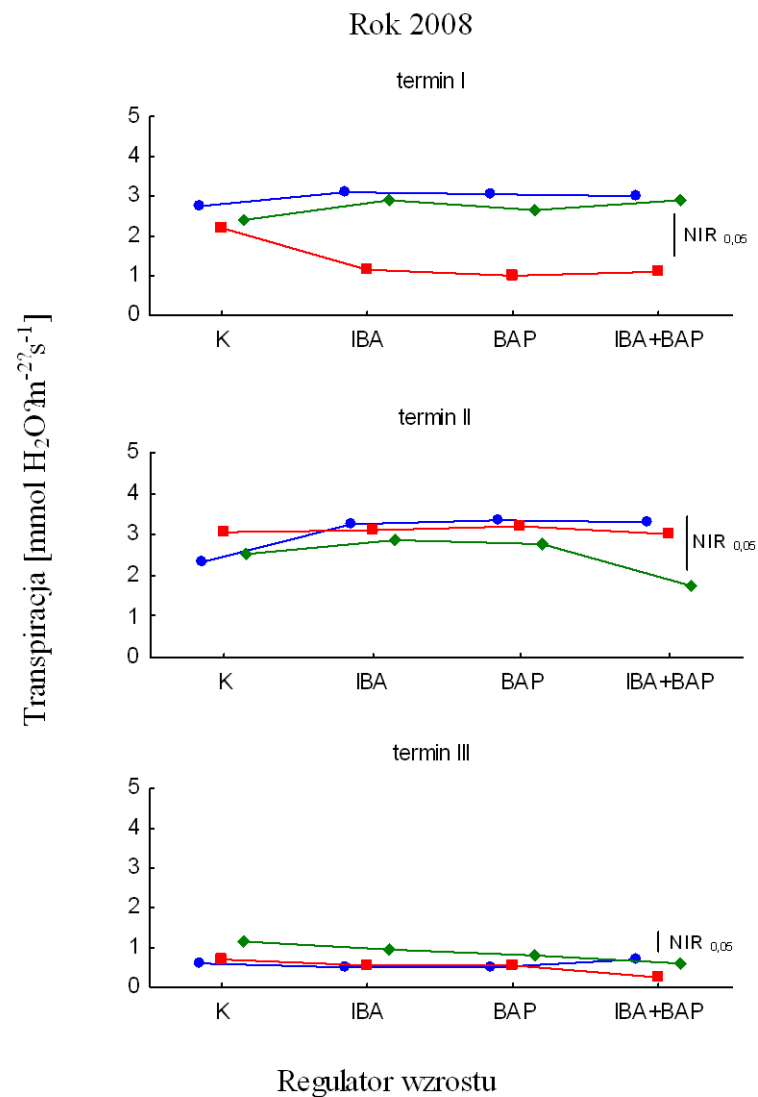


Jutro
Progres
Aldana

Rys. 3. Intensywność asymilacji trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007-2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

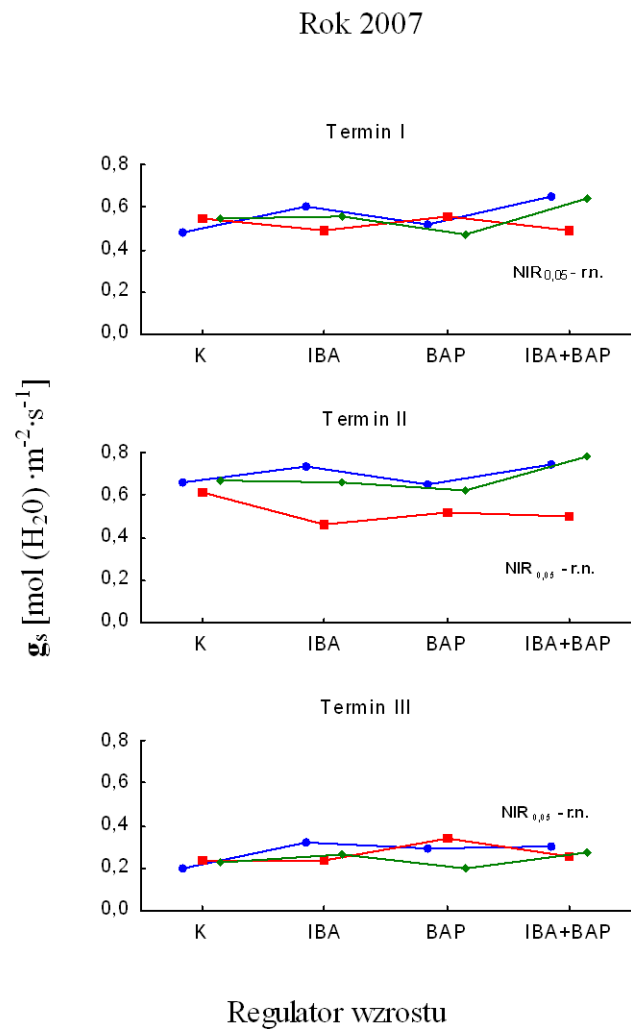


Jutro
Progres
Aldana



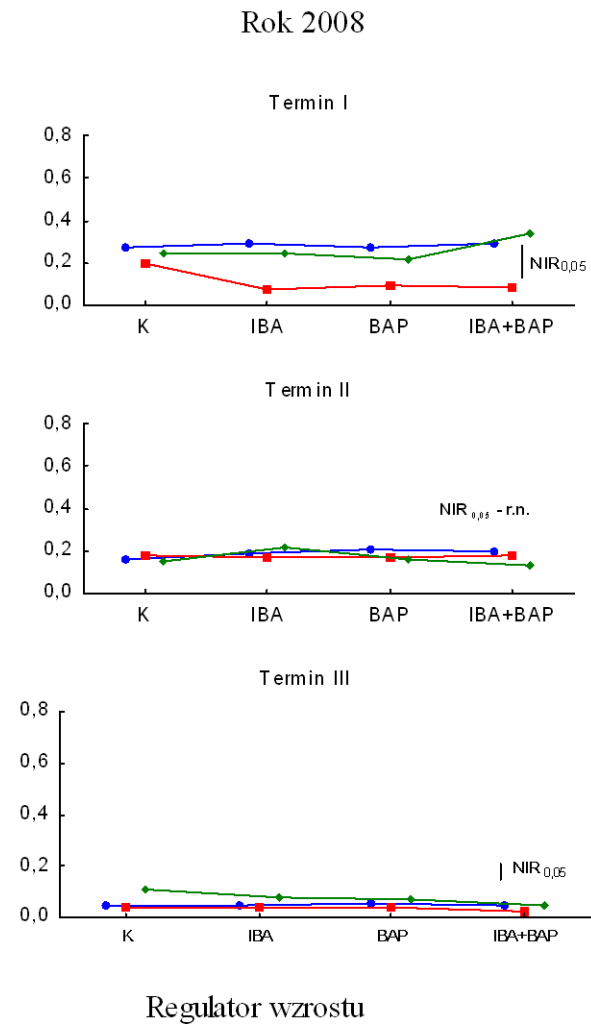
Jutro
Progres
Aldana

Rys. 4. Natężenie transpiracji trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007- 2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



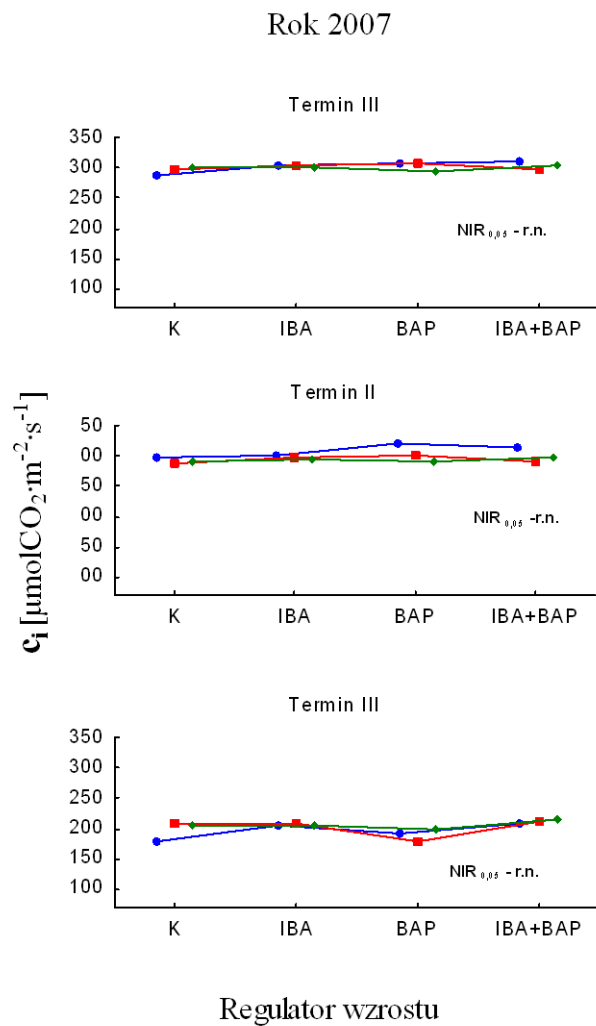
Jutro
Progres
Aldana

g_s [mol (H₂O) · m⁻² · s⁻¹]

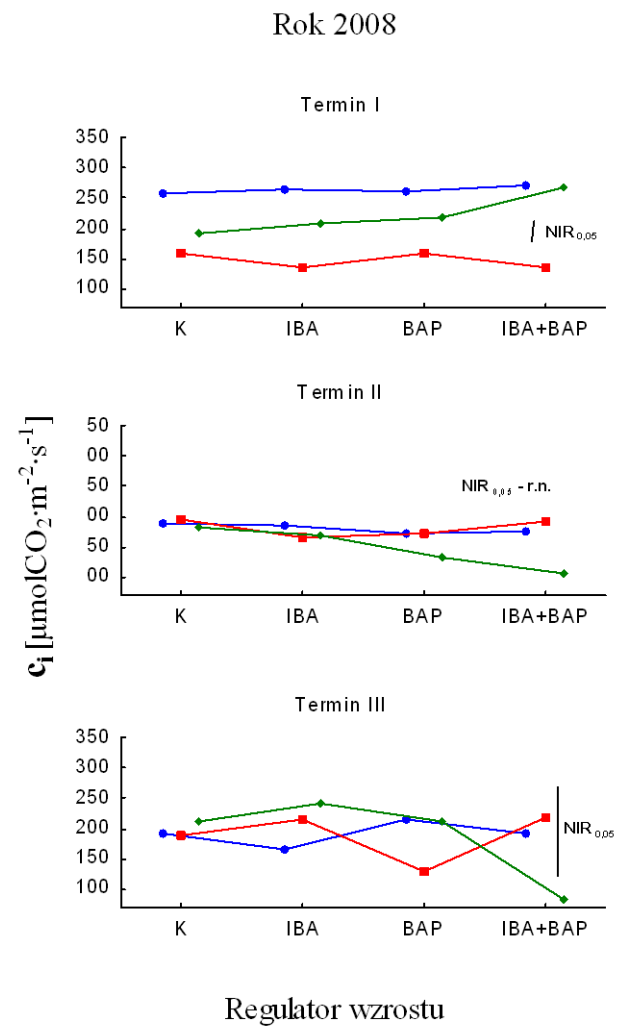


Jutro
Progres
Aldana

Rys. 5. Przewodność szparkowa (g_s) liści trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Jutro
Progres
Aldana



Jutro
Progres
Aldana

Rys. 6. Stężenie dwutlenku węgla w przestworach międzykomórkowych (c_i) w liściach soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007-2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Istotność interakcji między regulatorami a odmianami wykazano we wszystkich terminach pomiaru (rys. 3). W fazie liści trójdzielnie złożonych, najwyższym natężeniem fotosyntezy wyróżniała się odmiana Aldana w warunkach kontrolnych, najniższym zaś odm. Progres w kombinacji z BAP. W fazie kwitnienia roślin, najwyższą asymilacją charakteryzowała się odm. Aldana w kombinacji z IBA, podobnie wysoką asymilacją odznaczała się odm. Jutro w kombinacji z mieszaniną regulatorów wzrostu (wzrost natężenia tego procesu aż o 62% w stosunku do roślin kontrolnych). W fazie rozwoju nasion, mieszanina auksyny i cytokininy (IBA+BAP) znacząco wpłynęła na intensyfikację asymilacji, tylko u odm. Aldana. U pozostałych odmian, proces ten przebiegał na podobnym poziomie, niezależnie od kombinacji doświadczenia – rys. 3.

Średnia intensywność transpiracji liści soi w pierwszym roku badań (2007), była zbliżona w fazach liści trójdzielnie złożonych i kwitnienia, i znacznie wyższa niż w fazie rozwoju nasion. W roku tym, jedynie w okresie kwitnienia soi wykazano istotne różnice w wielkości tego procesu między odmianami – tab. 5. Transpiracja u odm. Aldana ($3,06 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) była istotnie wyższa niż u odmian: Jutro ($2,48 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i Progres ($2,28 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

W omawianym roku, tylko w pierwszym i drugim terminie pomiaru, stwierdzono istotne współdziałanie obu czynników doświadczenia na intensywność transpiracji – rys. 4.

W fazie liści trójdzielnie złożonych odnotowano wyraźny wzrost natężenia tego procesu u odm. Progres w kombinacji z IBA, przy czym wynosił on ponad $5 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ i był istotnie wyższy niż w pozostałych kombinacjach doświadczenia. Z kolei w fazie kwitnienia obserwowano istotny wpływ mieszaniny regulatorów wzrostu (IBA+BAP) na spadek intensywności transpiracji u odm. Progres, o ok. 24% w stosunku do roślin kontrolnych. W powyższej kombinacji uzyskano najmniejsze wartości tego parametru (ok. $2 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Najintensywniejszą transpiracją w tym terminie pomiaru, niezależnie od rodzaju regulatora wzrostu, wykazała się odm. Aldana (powyżej $3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

W roku 2008 stwierdzono duże zróżnicowanie w intensywności transpiracji między poszczególnymi terminami pomiarów. W trzecim terminie odnotowano około trzy razy mniejszą transpirację niż w pierwszym i drugim.

Istotne różnice w natężeniu transpiracji między odmianami stwierdzono w trzech terminach, z kolei regulatory wzrostu różnicowały badany parametr jedynie w okresie rozwoju nasion, powodując spadek intensywności transpiracji soi. W fazie liści trójdzielnie złożonych odmiany Jutro ($2,96 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i Aldana ($2,72 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) transpirowały intensywniej niż odmiana Progres ($1,37 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Natomiast w fazie kwitnienia odmiany

Progres ($3,09 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i Jutro ($2,96 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) charakteryzowały się zbliżoną transpiracją, ale znacznie wyższą niż odm. Aldana ($2,49 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Z kolei w fazie rozwoju nasion odm. Aldana transpirowała najintensywniej spośród wszystkich odmian.

W drugim roku badań (2008), we wszystkich terminach pomiaru odnotowano istotną interakcję między czynnikami doświadczenia. W pierwszym terminie zaobserwowano wyraźny spadek intensywności transpiracji u odm. Progres pod wpływem IBA, BAP i mieszaniny tych związków, u pozostałych odmian, niezależnie od rodzaju regulatora wzrostu, natężenie transpiracji było podobne. W drugim terminie pomiaru, tj. fazie kwitnienia, stwierdzono istotną interakcję między odmianą Aldana a mieszaniną IBA+BAP. W tym wariancie doświadczenia intensywność transpiracji była zdecydowanie najniższa. Z kolei w okresie rozwoju nasion, najwyższą transpiracją charakteryzowała się odm. Aldana w warunkach kontrolnych, i istotnie wyższą niż odm. Progres opryskana mieszaniną IBA+BAP – rys.4.

Przewodność szparkowa dla pary wodnej (g_s) kształtowała się różnie, w zależności od roku badań i terminu pomiaru. W pierwszym roku zaobserwowano znacznie wyższą średnią przewodność szparkową (g_s) niż w kolejnym - tab. 5. Najwyższe przewodnictwo szparkowe odnotowano w fazie kwitnienia roślin, natomiast najniższe w fazie rozwoju nasion.

W pierwszym roku, jedynie w drugim terminie wykazano istotne różnice w przewodności między odmianami. Odmiany Aldana ($0,68 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i Jutro ($0,69 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) charakteryzowały się większymi wartościami tego parametru w porównaniu z odmianą Progres ($0,52 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Nie stwierdzono natomiast istotnego współdziałania odmian i rodzajów regulatorów wzrostu na wielkość przewodnictwa szparkowego, w żadnym z badanych terminów – rys. 5.

W roku 2008, w fazie liści trójdzielnie złożonych i w fazie rozwoju nasion, odmiany Jutro i Aldana w porównaniu z odm. Progres odznaczały się o istotnie wyższą przewodnością szparkową. W omawianym roku wykazano istotną interakcję w dwóch terminach – rys. 5. W fazie liści trójdzielnie złożonych zastosowane oddzielnie i w mieszaninie regulatory wzrostu istotnie obniżyły przewodność szparkową u odm. Progres (o ok. 50%), zaś u odm. Aldana mieszanina IBA+BAP spowodowała znaczący wzrost przewodności. W okresie rozwoju nasion soi, jedynie odm. Aldana zareagowała spadkiem przewodności szparkowej na zastosowane regulatory wzrostu.

Stężenie CO_2 w przestworach międzykomórkowych (c_i) liści soi w roku 2007 było wyższe niż w 2008 - tab. 5. W obu latach badań stwierdzono, że odmiana Jutro charakteryzowała się istotnie wyższym stężeniem parametru c_i niż pozostałe odmiany,

przy czym w pierwszym roku odnotowano to w fazie kwitnienia ($308 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$), a w drugim roku - w fazie liści trójdzielnie złożonych ($263 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$).

W sezonie wegetacyjnym 2007 nie stwierdzono istotnego współdziałania obu czynników doświadczalnych, natomiast w sezonie 2008 istotne interakcje wykazano w terminach: pierwszym i trzecim – rys. 6. W fazie liści trójdzielnie złożonych, mieszanina IBA+BAP miała istotny wpływ na zwiększenie stężenia CO_2 w przestworach międzykomórkowych (c_i) u odm. Aldana, osiągając poziom stężenia obserwowanego u odm. Jutro. Istotnie niższymi wartościami c_i charakteryzowała się odmiana Progres we wszystkich wariantach doświadczenia. W fazie rozwoju nasion, odmiana Aldana w wariacie z mieszaniną regulatorów wzrostu wyróżniała się najniższym stężeniem CO_2 w przestworach międzykomórkowych (c_i) spośród wszystkich kombinacji doświadczalnych. Najwyższą wartością tego parametru odznaczała się ta sama odmiana po zastosowaniu IBA – rys. 6.

3.2.2. Zawartość barwników asymilacyjnych

Średnią zawartość barwników asymilacyjnych w liściach soi tj. chlorofilu całkowitego (a+b) i karotenoidów w latach 2007-2008 zestawiono w tabeli 6, natomiast interakcję między odmianami i regulatorami wzrostu przedstawiono na rys. 7 i 8.

Niezależnie od roku badań i czynnika doświadczalnego, w dwóch pierwszych terminach pomiaru odnotowano więcej barwników asymilacyjnych w liściach soi niż w terminie trzecim. W sezonie 2007 bez względu na termin pomiaru, stwierdzono istotne różnice w zawartości chlorofilu a+b między poszczególnymi regulatorami wzrostu – tab. 6. W fazach: liści trójdzielnie złożonych i kwitnienia, kwas indolilo-3-masłowy istotnie zwiększył koncentrację chlorofilu a+b w stosunku do roślin kontrolnych (kolejno o ok. 11 % i 22 %). Natomiast w fazie rozwoju nasion, zarówno IBA i BAP stosowane oddzielnie, jak i ich mieszanina wpłynęły istotnie na zwiększenie zawartości omawianych barwników. W tej fazie znaczne różnice wykazano także między odmianami, mianowicie Aldana i Progres charakteryzowały się istotnie większą zawartością chlorofilu a+b niż odm. Jutro.

Istotne współdziałanie między czynnikami wykazano w pierwszym i trzecim terminie pomiaru. W terminie liści trójdzielnie złożonych BAP zastosowany na rośliny odmiany Progres spowodował zwiększenie chl. a+b w liściach o ok. 20% w porównaniu roślinami z wariantu kontrolnego. Natomiast w fazie rozwoju nasion, najwyższą zawartością chl. a+b

odznaczała się odmiana Aldana po opryskaniu IBA i odmiana Progres po opryskaniu BAP, natomiast najmniejszą odmiany Aldana i Jutro z wariantu kontrolnego (rys. 7).

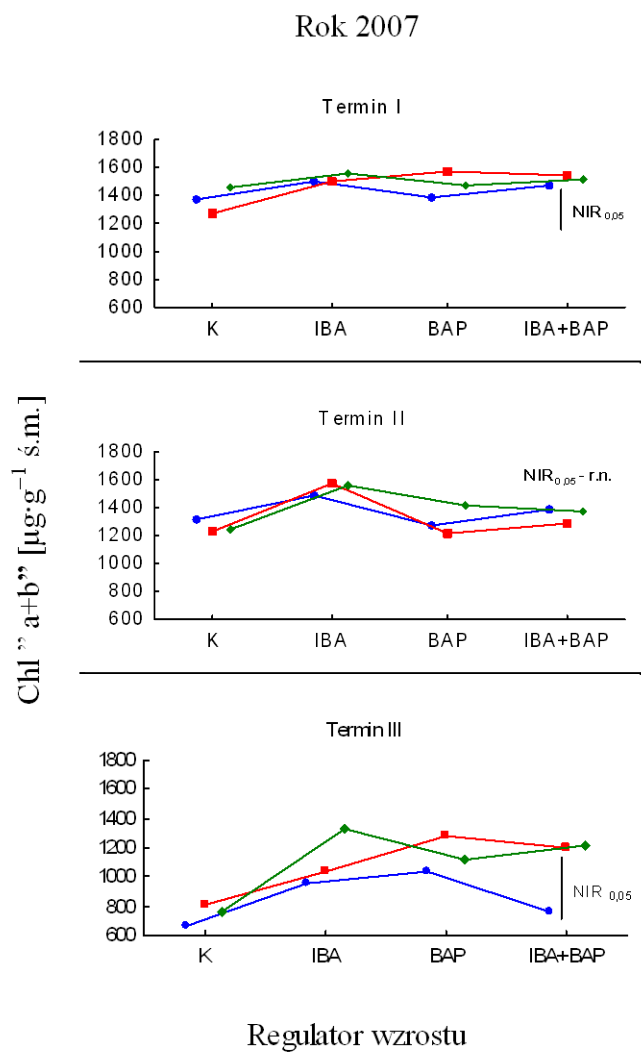
W roku 2008 dla efektów głównych istotność różnic w zawartości chl. a+b stwierdzono w drugim i trzecim terminie – tab. 6.

Tabela 6. Średnia zawartość barwników asymilacyjnych w liściach trzech odmian soi zwyczajnej pod wpływem egzogennych regulatorów wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007 - 2008.

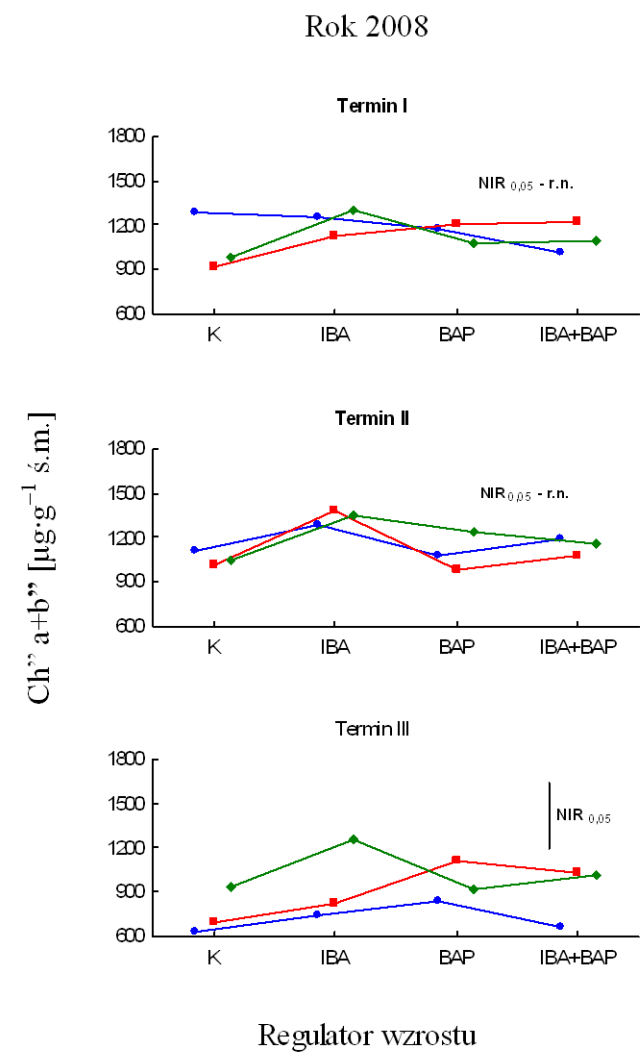
Obiekt badań		Chlorofil całkowity			Karotenoidy		
		[$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ś.m.]					
		faza rozwojowa					
		I	II	III	I	II	III
Rok 2007							
O	J	1428	1369	855	594	612	510
	P	1470	1323	1083	614	638	558
	Al	1500	1392	1106	855	667	640
R	K	1365	1261	742	708	611	511
	IBA	1517	1540	1102	621	725	590
	BAP	1475	1298	1152	702	601	602
	IBA+B AP	1509	1346	1062	723	618	574
NIR _{0,05} dla	O	108,0	r.n.	161,7	109,0	79,01	36,3
	R	137,9	197,2	206,4	r.n.	100,9	46,4
	OxR	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.
Rok 2008							
O	J	1189	1167	724	579	483	354
	P	1121	1115	916	620	515	408
	Al	1116	1201	1031	527	536	524
R	K	1064	1060	757	538	492	378
	IBA	1234	1342	945	617	595	459
	BAP	1157	1099	957	587	472	455
	IBA+B AP	1111	1145	903	558	487	423
NIR _{0,05} dla	O	r.n.	r.n.	146,4	71,3	r.n.	50,6
	R	r.n.	217,5	187,0	r.n.	98,5	64,6
	OxR	r.n.	r.n.	r.i.	r.n.	r.n.	r.i.

Objaśnienia skrótów patrz tabela 5, str. 33.

W fazie kwitnienia, rośliny w wariacie z IBA wykazały się zwiększoną zawartością chlorofilu całkowitego w stosunku do roślin w wariantach kontrolnym i z BAP. Z kolei w fazie rozwoju nasion, u soi opryskanej zarówno BAP, jak i IBA wykazano istotny wzrost zawartości powyższych barwników w porównaniu z kontrolą, kolejko o ok. 30 % i 32 %. Odmiany Progres i Aldana charakteryzowały się większą koncentracją chlorofilu niż odm. Jutro, odpowiednio o ok. 20 % i 30 %.

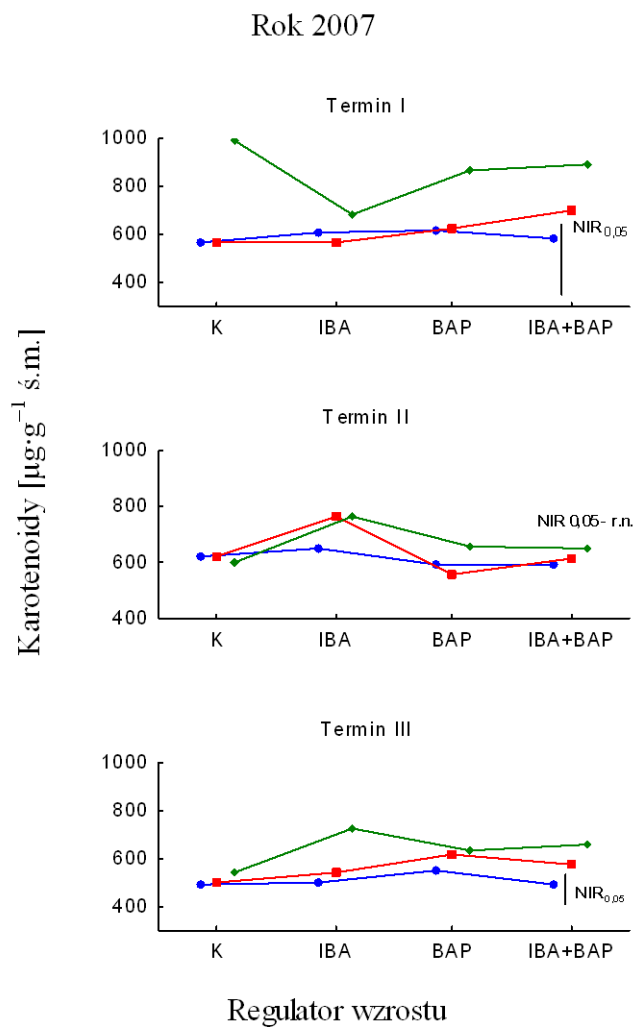


Jutro
Progres
Aldana

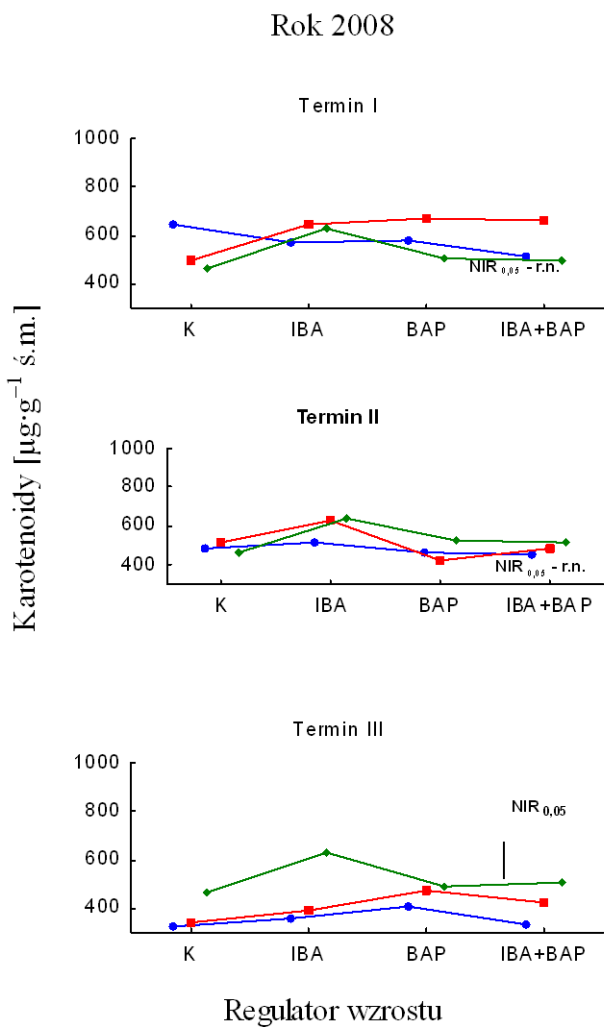


Jutro
Progres
Aldana

Rys. 7. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Jutro
Progres
Aldana



Jutro
Progres
Aldana

Rys. 8. Zawartość karotenoidów w liściach trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu mierzona w trzech terminach w latach 2007-2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Istotną interakcję stwierdzono jedynie w trzecim terminie, tj. w fazie rozwoju nasion. W fazie tej, najwyższą zawartością chl. a+b charakteryzowały się rośliny odmiany Aldana opryskiwane IBA i Progres opryskiwane BAP, zaś najniższa rośliny odmiany Jutro z wariantu kontrolnego oraz z wariantu z mieszanina regulatorów wzrostu (rys. 7).

W przypadku karotenoidów, niezależnie od roku badań i terminu pomiaru, regulatorem wzrostu, który najczęściej determinował koncentrację tych barwników był kwas indolilo-3-masłowy (IBA). Pod jego wpływem obserwowano istotny wzrost ilości karotenoidów w liściach soi. Obserwowano też wyraźne różnice w ilości omawianych barwników między odmianami – tab. 6. Na ogół, największą koncentracją karotenoidów charakteryzowała się odmiana Aldana, istotnie mniejszą odm. Progres, a najmniejszą odm. Jutro.

W pierwszym roku badań (2007) stwierdzono również istotną interakcję pomiędzy czynnikami doświadczenia w fazie liści trójdzielnie złożonych i fazie rozwoju nasion. W fazie liści trójdzielnie złożonych najwięcej karotenoidów zawierały liście odmiany Aldana opryskiwane IBA +BAP i pochodzące z wariantu kontrolnego, natomiast w fazie rozwoju nasion, liście tej odmiany, pochodzące ze wszystkich wariantów doświadczenia.

W roku 2008 istotną interakcję wykazano tylko w fazie rozwoju nasion, gdzie najwięcej karotenoidów stwierdzono w liściach odmiany Aldana w wariantach z IBA, IBA+BAP oraz kontrolnym, zaś najmniej w liściach odmiany Jutro opryskiwanych wodą destylowaną.

3.2.3. Cechy biometryczne aparatów szparkowych

Liczbę, długość i szerokość aparatów szparkowych na dolnej i górnej epidermie blaszki liściowej soi oraz długość ich szczelin szparkowych dla poszczególnych odmian w zależności od rodzaju regulatora wzrostu zestawiono w tabeli 7, natomiast interakcję między czynnikami przedstawiono na rys. 9-12. Liczbę aparatów szparkowych podano w przeliczeniu na 1mm² powierzchni liścia.

Stwierdzono, iż liście soi są amfistomatyczne, tzn., że aparaty szparkowe są rozmieszczone zarówno na dolnej, jak i na górnej epidermie blaszki liściowej. Dolna epiderma charakteryzowała się 2-3 krotnie większą liczbą aparatów szparkowych niż górna.

W obu latach badań wykazano, że zarówno regulatory wzrostu, jak i odmiany soi determinowały średnią liczbę aparatów szparkowych położonych na górnej i dolnej stronie blaszki liściowej – tab. 7.

Wszystkie zastosowane regulatory miały wyraźny wpływ na wzrost liczby aparatów szparkowych na jednostce powierzchni liścia, przy czym największy wpływ miała benzyloaminopuryna (BAP). W przypadku tego regulatora w 2007 roku zaobserwowano istotny wzrost liczby aparatów szparkowych o ok. 15 % (186 szt. \cdot mm²) na epidermie dolnej w porównaniu z roślinami kontrolnymi (161 szt. \cdot mm²). Największą liczbą aparatów szparkowych zarówno na dolnej, jak i górnej epidermie charakteryzowała się odmiana Jutro.

W roku 2008 wykazano istotny wzrost średniej liczby aparatów szparkowych na dolnej epidermie blaszki liściowej u roślin opryskiwanych wszystkimi regulatorami wzrostu. Średnia ich liczba w tym przypadku wzrosła średnio o oko. 47% u (221 szt. \cdot mm²) u roślin opryskiwanych BAP w porównaniu do roślin kontrolnych, które posiadały tylko 150 szt. Na mm² blaszki liściowej. Podobną sytuację stwierdzono w przypadku roślin opryskiwanych IBA (wzrost o ok. 23 %) i roślin opryskiwanych mieszaniną IBA+BAP (wzrost o 27 %). Liczba aparatów szparkowych na dolnej epidermie u wszystkich odmian była podobna, natomiast w przypadku górnej epidermy, wykazano, iż odmiana Jutro charakteryzuje się istotnie większą liczbą aparatów szparkowych (83 szt. \cdot mm²) w porównaniu do pozostałych odmian.

W obydwu latach trwania doświadczenia wykazano istotną interakcję między czynnikami.

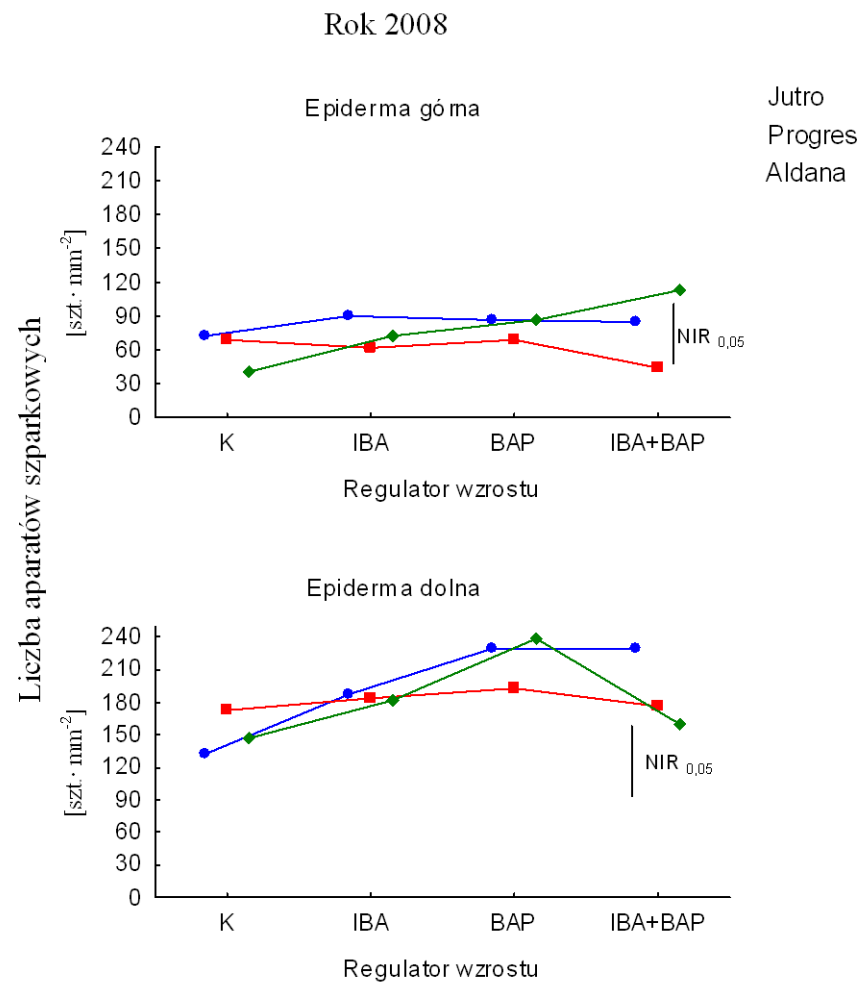
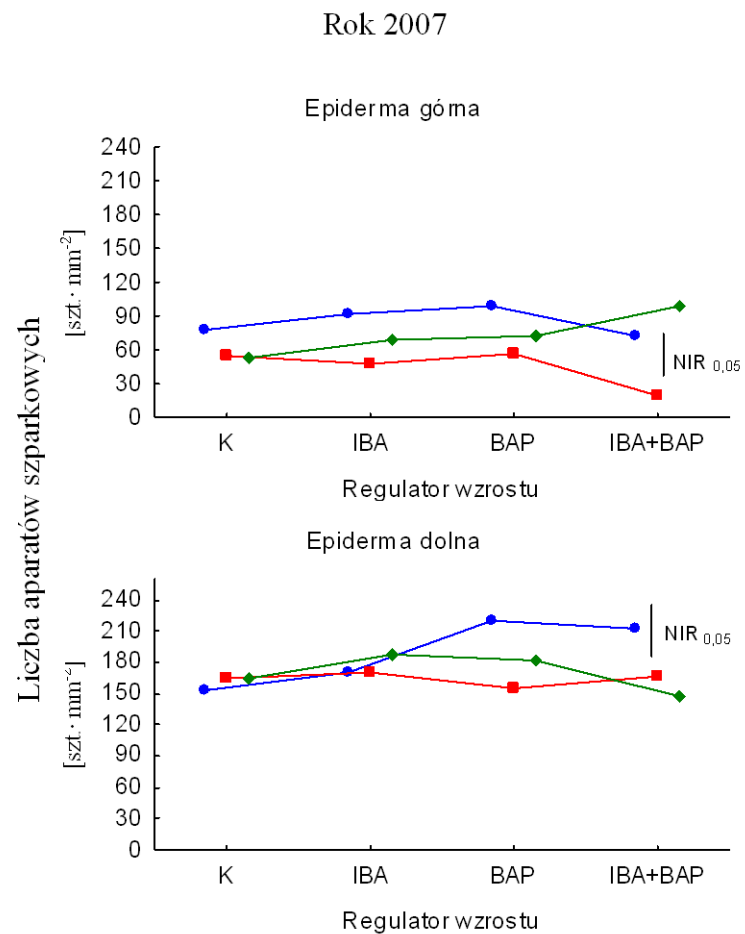
W sezonie 2007 stwierdzono wpływ współdziałania mieszaniny IBA+BAP z odmianą Aldana na wzrost liczby aparatów szparkowych na górnej epidermie, prawie 2-krotny w stosunku do warunków kontrolnych. Ta sama mieszanina u odm. Progres spowodowała istotny spadek ich liczby. Z kolei na dolnej epidermie liści, najwięcej aparatów szparkowych zaobserwowano u odmiany Jutro opryskanej BAP (220szt. \cdot mm²), istotnie mniej u dwóch pozostałych odmian, tj. Progres w kombinacji z BAP i Aldany w kombinacji z mieszaniną IBA+BAP (ok. 150 szt. \cdot mm⁻²) - rys. 11.

W roku 2008, w przypadku liczby aparatów szparkowych położonych na górnej epidermie, stwierdzono podobne zależności między czynnikami, jak w roku poprzednim, gdzie mieszanina IBA+BAP spowodowała u roślin odmiany Aldana prawie trzykrotny wzrost liczby aparatów szparkowych w porównaniu do roślin kontrolnych. Natomiast w przypadku dolnej epidermy, największą ich liczbę odnotowano w kombinacjach: odm. Aldana z BAP (ok. 239 szt. \cdot mm⁻²) i odm Jutro z mieszaniną IBA+BAP (ok. 229 szt. \cdot mm⁻²), istotnie mniejszą liczbę aparatów szparkowych stwierdzono w kombinacjach: w kontrolnej odm. Jutro i odm. Aldana w bez regulatorów wzrostu (kolejno ok. 132 szt. \cdot mm⁻² i ok. 147 szt. \cdot mm⁻²) oraz odm. Aldana w kombinacji z mieszaniną IBA+BAP (ok. 159 szt. \cdot mm⁻²) – rys.11.

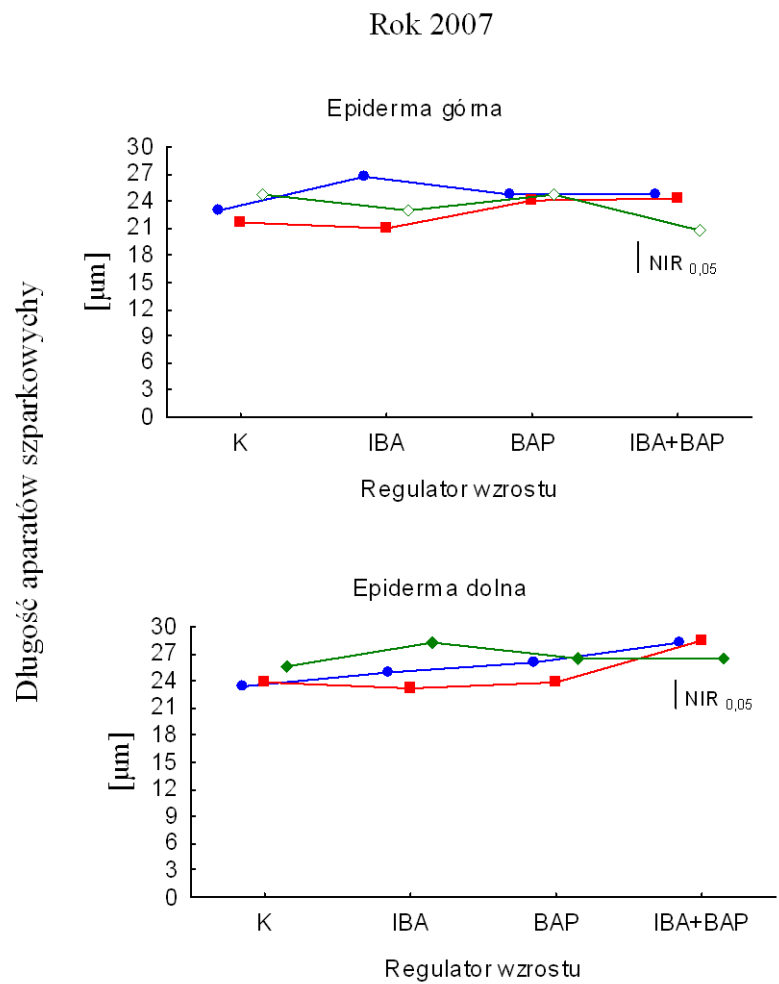
Tabela 7. Charakterystyka aparatów szparkowych na dolnej i górnej epidermie blaszki liściowej trzech odmian soi zwyczajnej pod wpływem egzogennych regulatorów wzrostu w latach 2007 i 2008.

Obiekt badań		Liczba aparatów szparkowych		Długość aparatów szparkowych		Szerokość aparatów szparkowych		Długość szczeliny szparkowej			
		górna	dół	górna	dół	górna	dół	górna	dół		
		[szt.·mm ⁻²]		[µm]							
		Rok 2007									
O	J	85	189	24,8	25,6	13,5	14,5	15,6	15,1		
	P	45	164	22,7	24,8	13,7	13,1	13,4	14,1		
	Al	73	170	23,	26,6	13,2	15,5	13,6	15,8		
R	K	61	161	23,1	24,2	11,7	13,4	13,4	13,5		
	IBA	70	176	23,5	25,4	13,9	13,5	13,9	15,6		
	BAP	76	186	24,5	25,4	14,2	15,3	15,3	15,1		
	IBA+B AP	64	176	23,3	27,7	14,1	15,3	14,2	15,8		
NIR _{0,05} dla	O	13,6	18,3	1,21	1,14	r.n.	1,47	1,38	0,97		
	R	r.n.	23,3	r.n.	1,141	1,98	1,88	1,75	1,24		
	OxR	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.		
Rok 2008											
O	J	83	195	23,3	25,1	14,3	13,9	14,0	15,1		
	P	62	182	24,3	25,8	14,3	13,9	14,1	16,3		
	Al	76	183	25,1	25,8	14,4	14,7	15,0	16,4		
R	K	61	150	24,1	23,7	13,1	13,2	12,9	14,2		
	IBA	74	185	24,8	25,8	14,7	13,3	14,1	16,2		
	BAP	81	221	24,9	25,8	15,1	15,3	15,5	15,9		
	IBA+B AP	78	191	23,2	26,7	14,5	15,0	14,5	17,2		
NIR _{0,05} dla	O	19,8	r.n.	1,438	r.n.	r.n.	r.n.	r.n,	r.n.		
	R	r.n.	29,3	r.n.	2,40	1,92	1,90	1,97	1,67		
	OxR	r.i.	r.i.	r.n.	r.n.	r.n.	r.i.	r.i.	r.i.		

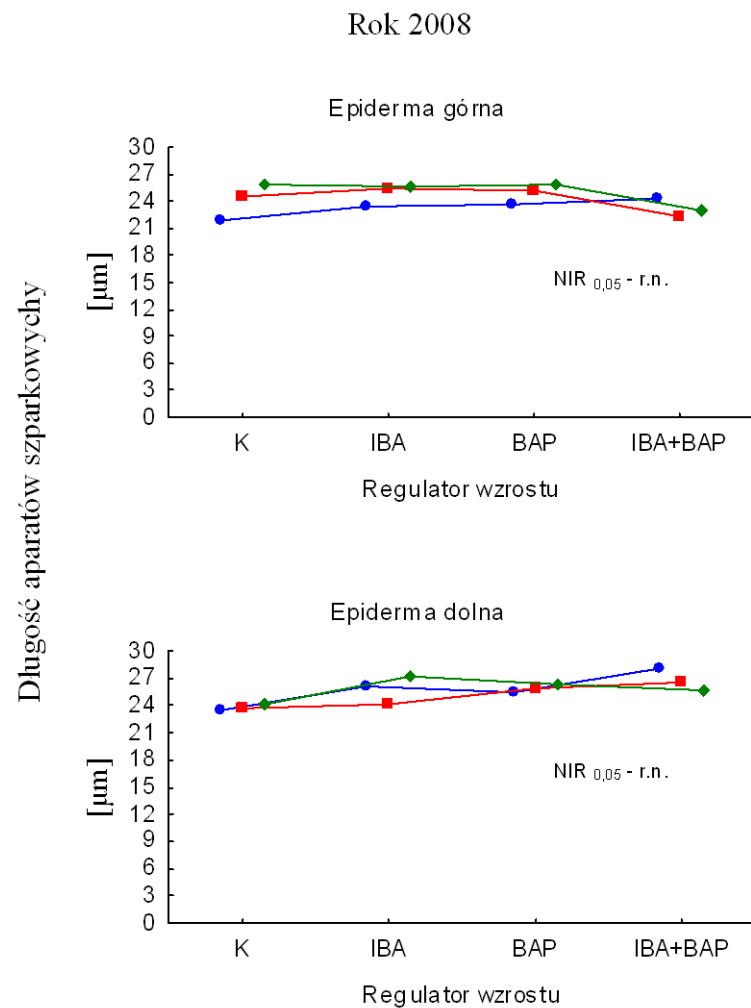
Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Rys. 9. Liczba aparatów szparkowych na 1mm² górnej i dolnej epidermie blaszki liściowej trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

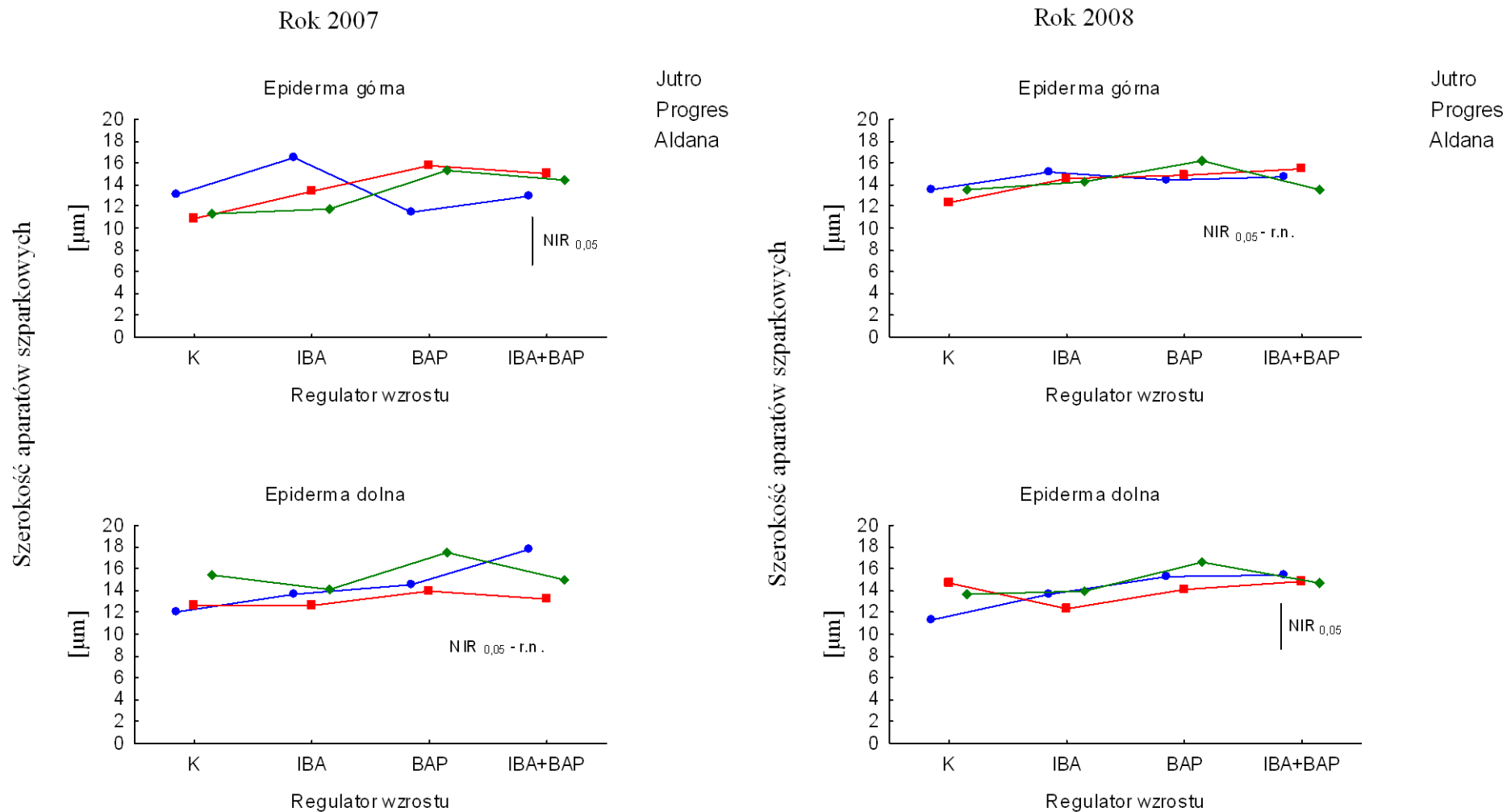


Jutro
Progres
Aldana

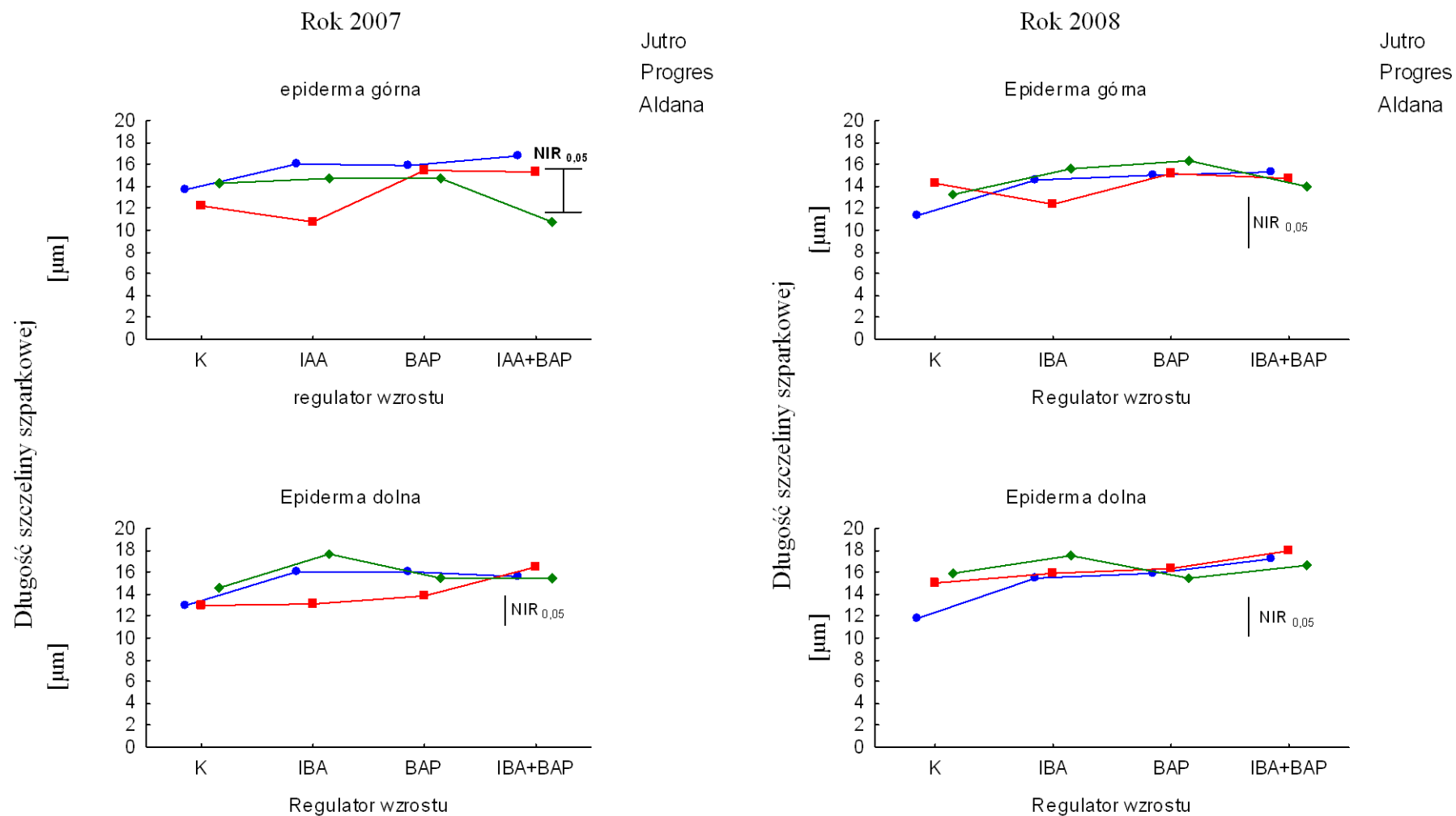


Jutro
Progres
Aldana

Rys. 10. Długość aparatów szparkowych na dolnej i górnej epidermie blaszki liściowej trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej syntetycznymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Rys. 11. Szerokość aparatów szparkowych na dolnej i górnej epidermie blaszki liściowej trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007- 2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Rys. 12. Długość szczeliny szparkowej dolnej i górnej epidermy blaszki liściowej trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007- 2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Wielkość aparatów szparkowych charakteryzowana ich długością i szerokością została opisana w tab. 7. W obu latach badań zastosowane regulatory wzrostu różnicowały średnie długości aparatów szparkowych tylko na dolnej epidermie liści soi, zwłaszcza mieszanina IBA+BAP. Pod jej wpływem w roku 2007 aparaty szparkowe były istotnie dłuższe od tych pod wpływem regulatorów stosowanych oddzielnie czy też bez regulatorów, natomiast w roku 2008 stwierdzono różnice tylko w stosunku do warunków kontrolnych.

Odmiany soi różniły się średnią długością aparatów szparkowych na górnej i dolnej epidermie liści, choć nie zawsze były to znaczące różnice. Najdłuższe aparaty szparkowe najczęściej odnotowywano u odmiany Aldana, najkrótsze u odmiany Progres.

Stwierdzono istotne interakcje pomiędzy efektami głównymi doświadczenia, ale tylko w pierwszym roku - rys. 10. Odmiana Jutro zareagowała na kwas IBA istotnym wzrostem długości aparatów szparkowych położonych na górnej epidermie (z 22,9 ~~do~~ 26,6 μm). Zdecydowanie najkrótszymi aparatami szparkowymi spośród wszystkich kombinacji doświadczalnych odznaczała się odmiana Aldana, po zastosowaniu mieszaniny auksyny z cytokinina, osiągając tylko średnio 20,8 μm .

W przypadku aparatów położonych na dolnej epidermie istotną interakcję stwierdzono między odmianą Aldana a kwasem IBA oraz między mieszaniną regulatorów wzrostu a odmianami Jutro i Progres. We wszystkich tych kombinacjach wykazano najdłuższe aparaty szparkowe, mające średnio 28 μm .

Szerokość aparatów szparkowych położonych zarówno na górnej, jak i dolnej stronie blaszki liściowej, w obu latach doświadczenia była determinowana rodzajem regulatora wzrostu (tab. 7). W roku 2007 stwierdzono, że wszystkie rodzaje regulatorów wzrostu w stosunku do kontroli, zwiększyły istotnie ten parametr na górnej epidermie, natomiast na dolnej - BAP stosowane oddzielnie i w mieszaninie z IBA. W roku 2008 tylko 6-beznyloaminopuryna znacząco wpłynęła na zwiększenie szerokości aparatów, o ponad μm w stosunku do roślin kontrolnych.

Odmiany soi różniły się szerokością aparatów, jedynie tych położonych na dolnej epidermie w pierwszym roku badań. Odmiana Aldana charakteryzowała się najszerszymi aparatami (15,5 μm), zaś najwęższymi odmiana Progres (13,1 μm).

Stwierdzono też istotne interakcje, w roku 2007 na górnej epidermie, natomiast w roku następnym – na dolnej (rys. 11). Reakcja poszczególnych odmian soi była zróżnicowana na dany regulator wzrostu i niejednoznaczna.

Długość szczelin szparkowych aparatów w latach 2007 i 2008 była zróżnicowana w zależności od odmian i rodzaju regulatora wzrostu (tab. 7). W obu latach badań stwierdzono istotny wpływ BAP na wydłużenie szczelin aparatów szparkowych położonych na górnej epidermie, średnio o 2-2,6 μm w stosunku do kontroli. Natomiast na ~~wyżenie~~ wydłużenie szczelin aparatów położonych na dolnej epidermie miały wpływ, przede wszystkim mieszanina IBA+BAP, ale też IBA i BAP stosowane oddzielnie.

Odmiany soi jedynie w pierwszym roku badań różniły się istotnie długością szczelin szparkowych. Najdłuższymi szczelinami aparatów szparkowych położonych na górnej epidermie liści charakteryzowała się odmiana Jutro (15,6 μm), natomiast najkrótszymi odm. Progres (13,4 μm). Z kolei na dolnej epidermie liści najdłuższymi szczelinami aparatów szparkowych charakteryzowała się odmiana Aldana (15,8 μm), a najkrótszymi ponownie odmiana Progres (14,1 μm).

W obu latach badań, zarówno dla górnej, jak i dla dolnej epidermy stwierdzono istotne interakcje między odmianami a rodzajami regulatorów wzrostu – rys. 12. W roku 2007, mieszanina kwasu inolilo3-masłowego i 6-benzyloaminopuryny miała istotny wpływ na skrócenie szczelin aparatów szparkowych położonych na górnej epidermie liści odmiany Aldana, a na wydłużenie u odmiany Progres (odpowiednio o 29 i 28% w porównaniu z roślinami kontrolnymi). W przypadku aparatów znajdujących się na dolnej epidermie stwierdzono, że najdłuższymi szczelinami szparkowymi charakteryzowała się odmiana Aldana po zastosowaniu IBA, ok. 18 μm .

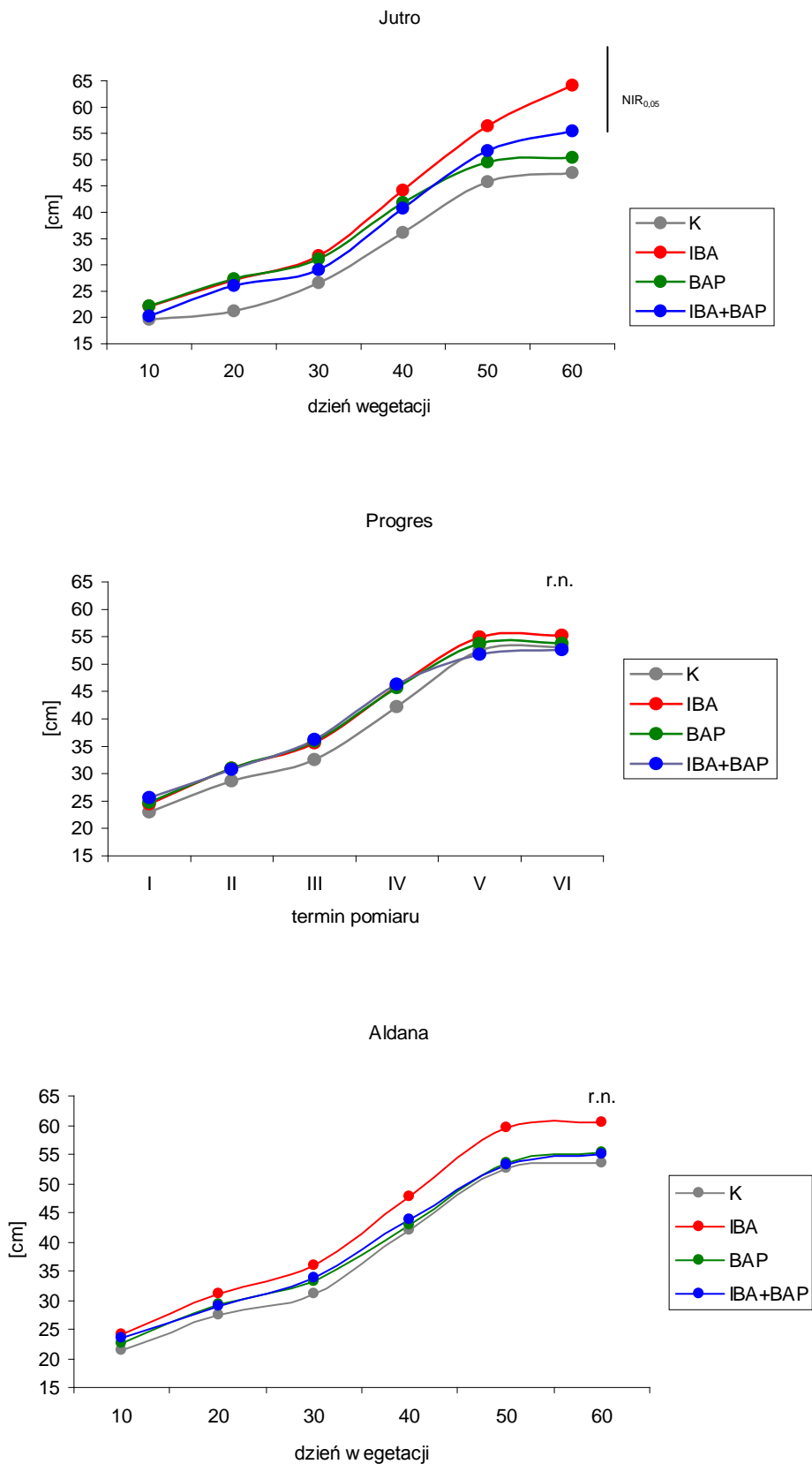
W drugim roku badań (2008), niezależnie od epidermy liścia, jedynie u odmiany Jutro stwierdzono wyraźny i znaczący wzrost długości szczelin aparatów szparkowych po opryskaniu wszystkimi rodzajami regulatorów wzrostu.

3.3. Cechy biometryczne soi zwyczajnej w latach 2007-2008

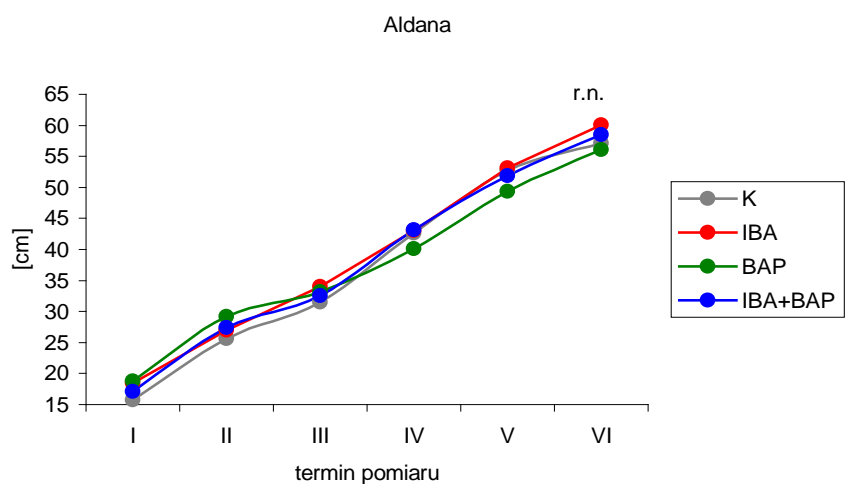
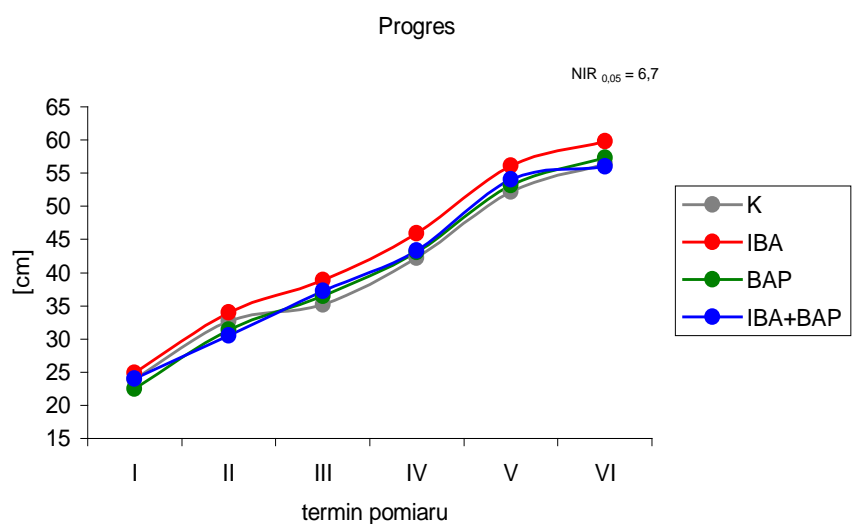
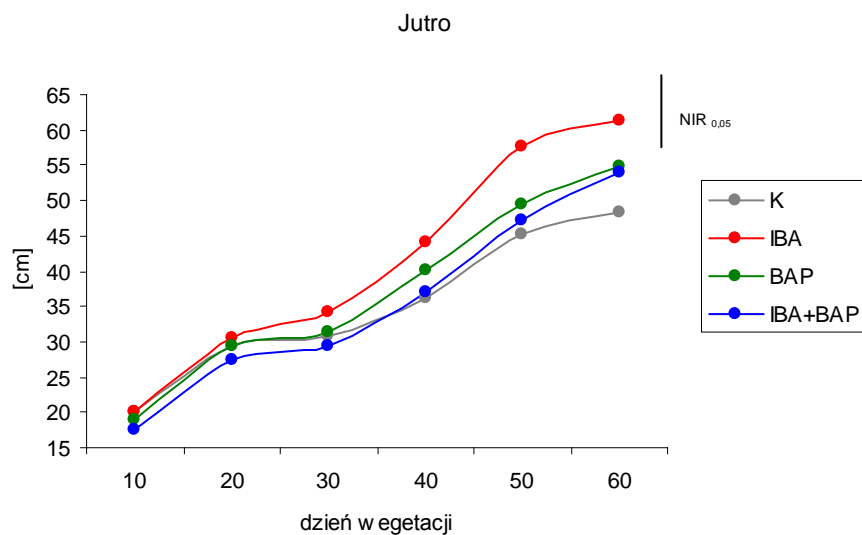
3.3.1. Wysokość roślin

Wysokość roślin trzech odmian soi zwyczajnej pod wpływem egzogennych regulatorów wzrostu w latach 2007-2008 przedstawiono na rys. 13-14.

W latach 2007-2008 wykazano, że rośliny odmiany Jutro opryskiwane kwasem indolilo-3-masłowym były istotnie wyższe (średnio o ok. 15 cm) w porównaniu z roślinami kontrolnymi.



Rys. 13. Wysokość roślin trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych syntetycznymi regulatorami wzrostu mierzona w sześciu terminach w roku 2007. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Rys. 14. Wysokość roślin trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych syntetycznymi regulatorami wzrostu mierzona w sześciu terminach w roku 2008. Objasnienia skrótoów, patrz tabela 5, str.

W przypadku odmian Progres i Aldana nie wykazano w przypadku tego parametru istotnych różnic w porównaniu z roślinami kontrolnymi.

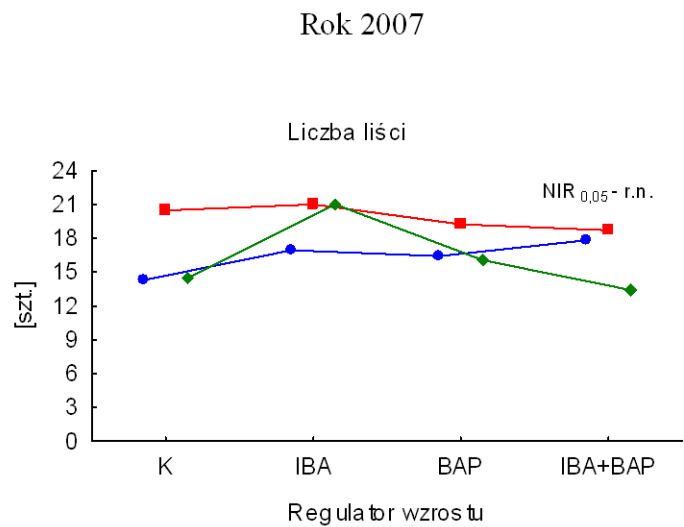
3.3.2. Liczba liści i powierzchnia asymilacyjna

Średnie wyniki dotyczące liczby liści i ich powierzchni asymilacyjnej dla czynników doświadczalnych zestawiono w tabeli 8, natomiast interakcję między czynnikami przedstawiono na rys. 15

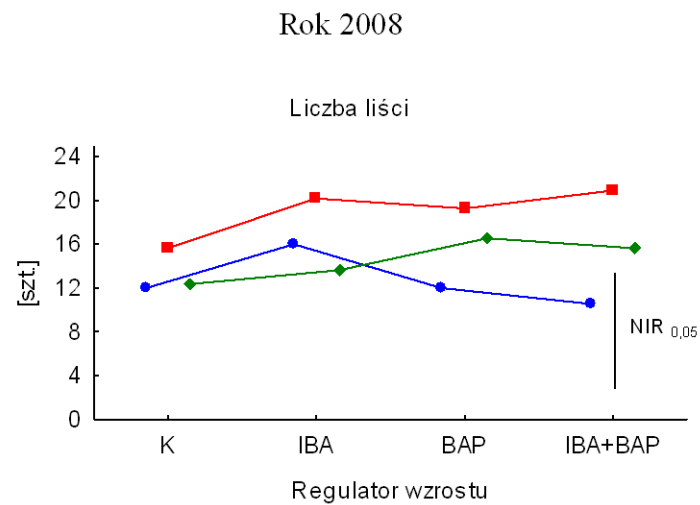
Tabela 8. Liczba liści i ich powierzchnia asymilacyjna z jednej rośliny u trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008.

Objekt badań		Liczba liści na roślinie [szt]	Powierzchnia asymilacyjna liści z jednej rośliny [dm ²]
		Rok 2007	
O	J	16	59,6
	P	20	72,5
	Al	16	62,4
R	K	16	66,9
	IBA	20	66,9
	BAP	17	62,6
	IBA+BAP	17	64,2
NIR _{0,05} dla	O	3,441	r.n.
	R	r.n.	r.n.
	OxR	r.n.	r.n.
		Rok 2008	
O	J	13	52,5
	P	19	85,1
	Al	15	58,1
R	K	13	60,8
	IBA	17	70,4
	BAP	16	67,7
	IBA+BAP	16	62,1
NIR _{0,05} dla	O	3,5	14,29
	R	r.n.	r.n.
	OxR	r.i.	r.i.

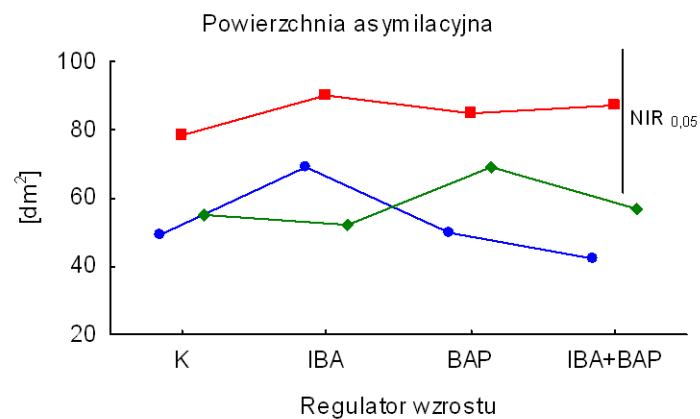
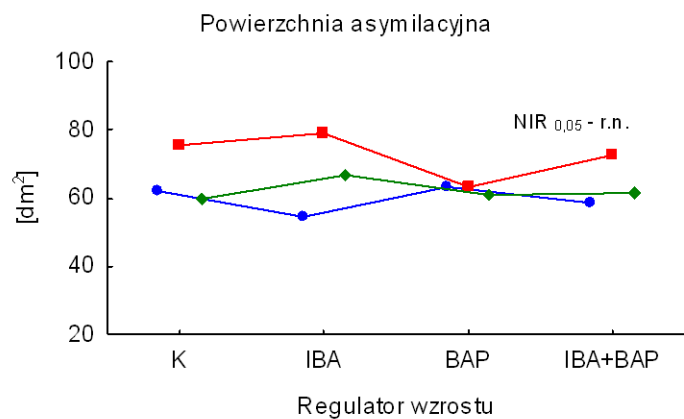
Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Jutro
Progres
Aldana



Jutro
Progres
Aldana



Rys. 15. Liczba liści oraz powierzchnia asymilacyjna z jednej rośliny trzech odmian soi zwyczajnej po zastosowaniu egzogennych regulatorów wzrostu w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Analiza wariancji wykazała, że zarówno średnia liczba liści na roślinie, jak i ich sumaryczna powierzchnia nie zależały od rodzaju regulatora wzrostu, tylko od odmiany soi. Odmiana Progres, w obu latach badań, charakteryzowała się zdecydowanie większymi wartościami badanych parametrów niż odmiany Jutro i Aldana.

Analizując wpływ rodzaju regulatorów wzrostu na poszczególne odmiany soi, wykazano, że w pierwszym roku był on nieistotny, natomiast w drugim roku istotny (rys. 15). Najwięcej liści wykształciła odmiana Progres opryskana mieszaniną IBA+BAP (średnio 21 szt.). Ta sama odmiana charakteryzowała się największą sumaryczną powierzchnią asymilacyjną z jednej rośliny, niezależnie od kombinacji doświadczenia. Obserwowano także w 2008 roku istotny wpływ współdziałania kwasu IBA z odmianą Jutro na wzrost zarówno liczby liści, jak i ich średniej powierzchni asymilacyjnej w stosunku do kontroli - rys. 15.

3.3.1. Plon soi zwyczajnej

Średnią liczbę strąków na jednej roślinie, średnią świeżą i suchą masę strąków oraz nasion z jednej rośliny dla czynników doświadczenia w latach 2007-2008 zestawiono w tabeli 9, natomiast interakcję pomiędzy czynnikami przedstawiono na rys. 16-18.

W roku 2007 spośród badanych odmian soi, najlepiej plonowała odmiana Progres, która charakteryzowała się istotnie większą średnią liczbą strąków na jednej roślinie, a także jednostkową świeżą i suchą masę strąków oraz świeżą masę nasion – tab. 9. Wykazano również, że wszystkie zastosowane regulatory (IBA, BAP i IBA+BAP), w stosunku do kontroli wpłynęły znacząco na przyrost suchej masy strąków (średnio o ok. 20%) oraz świeżej i suchej masy nasion (o ok. 25-30%) – tab. 9. Wykazano istotne interakcje, zwłaszcza między odmianą Aldana a mieszaniną IBA+BAP w wyniku, której nastąpiło istotne zwiększenie świeżej i suchej masy strąków oraz nasion, od 20 do 47% w porównaniu do roślin kontrolnych rys. 17 i 18.

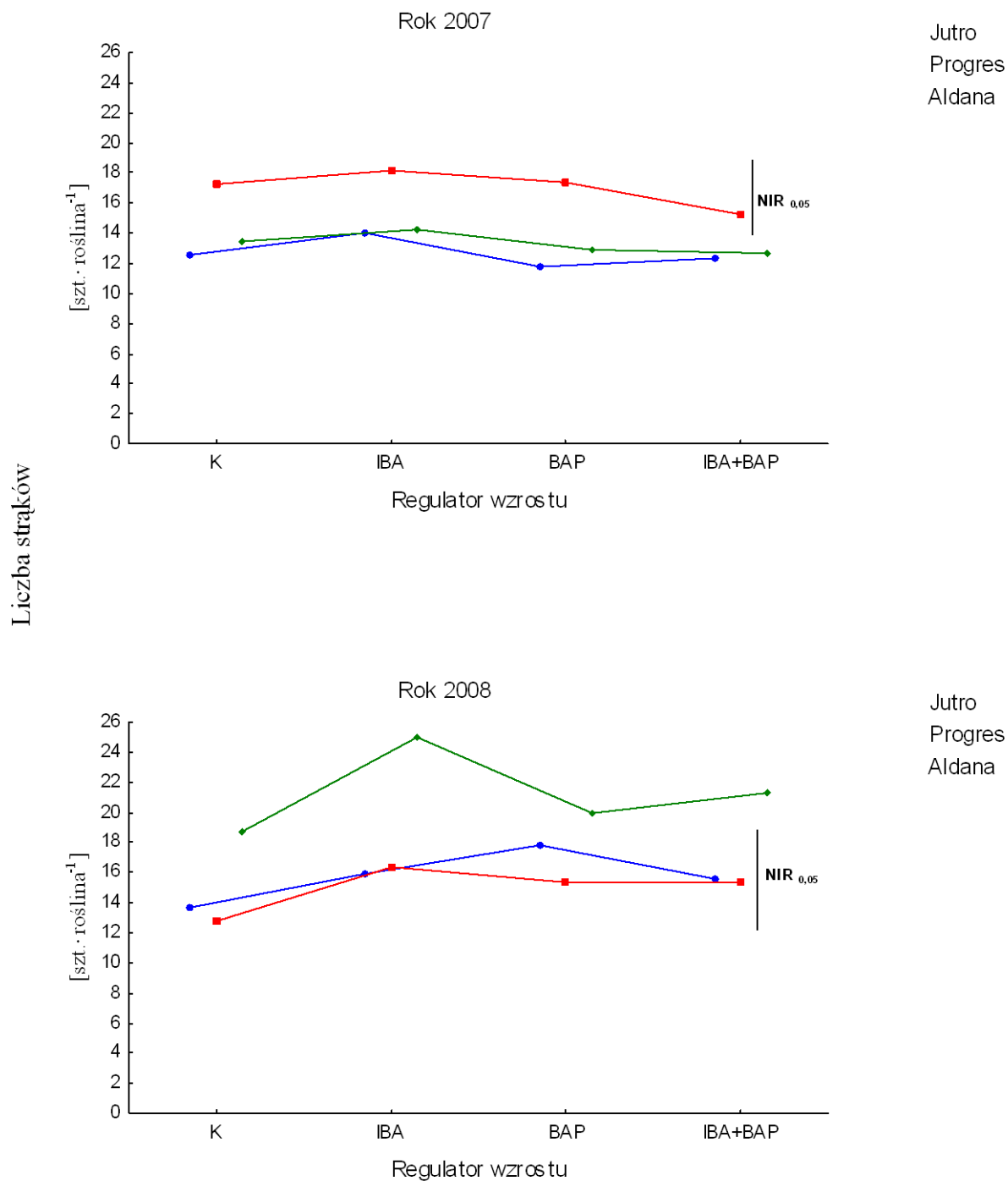
W roku 2008 najlepiej plonowała odmiana Aldana, która wytworzyła istotnie większą średnią liczbę strąków z jednej rośliny, a także jednostkową świeżą i suchą masę strąków oraz nasion, niż odmiany Jutro i Progres – tab. 9. Soja opryskiwana IBA wykazała największy wzrost badanych parametrów, tj. średniej liczby strąków na roślinie, świeżej masy nasion, suchej masy strąków i nasion, odpowiednio o 26, 29, 34 i 40% w porównaniu z roślinami kontrolnymi.

Tabela 9. Plon nasion trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007 i 2008.

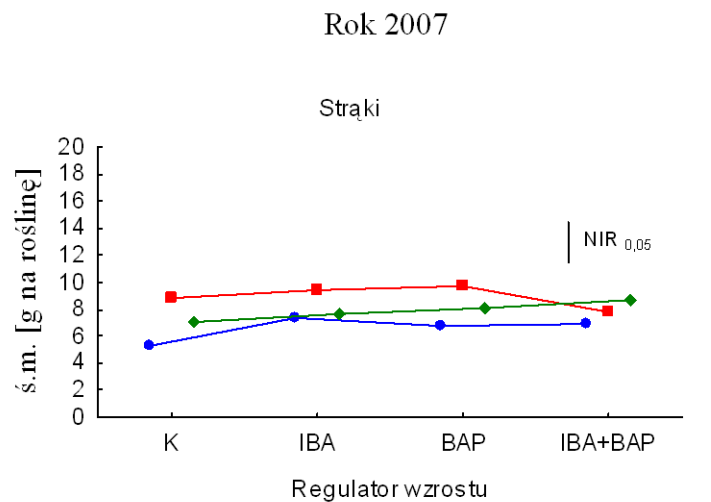
Obiekt badań		Liczba strąków na jednej roślinie	Świeża masa strąków z jednej rośliny	Świeża masa nasion z jednej rośliny	Sucha masa strąków z jednej rośliny	Sucha masa nasion z jednej rośliny
		[szt]	[g]			
Rok 2007						
O	J	13	6,60	4,32	5,23	3,20
	P	17	8,94	5,34	6,16	3,82
	AI	13	7,83	4,86	5,79	3,26
R	K	14	7,07	3,90	4,88	2,76
	IBA	15	8,15	5,26	6,09	3,72
	BAP	14	8,16	5,17	6,00	3,62
	IBA+BA P	13	7,79	5,06	5,90	3,34
NIR _{0,05} dla	O	1,7	1,145	0,569	0,572	n.i.
	R	r.n.	r.n.	0,724	0,727	0,555
	OxR	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.
Rok 2008						
O	J	16	11,16	6,20	5,83	3,19
	P	15	7,20	3,93	5,00	2,61
	AI	21	15,16	7,87	9,21	5,31
R	K	15	9,37	5,06	5,82	3,10
	IBA	19	11,93	6,57	7,82	4,34
	BAP	18	11,92	6,29	6,80	3,80
	IBA+BA P	17	11,44	6,09	6,28	3,52
NIR _{0,05} dla	O	2,4	2,303	1,181	1,263	0,755
	R	3,1	r.n.	1,502	1,607	0,957
	OxR	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.

Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

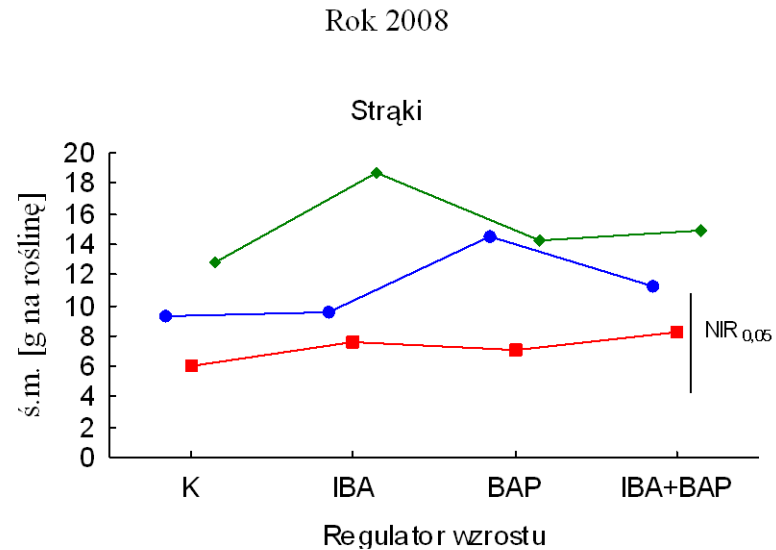
Stwierdzono również istotne interakcje pomiędzy czynnikami doświadczenia. Wykazano istotny wpływ kwasu IBA na wzrost wszystkich parametrów u odmiany Aldana, w porównaniu z kombinacją kontrolną wynosił on, niezależnie od parametru, zawsze ponad 50% (rys. 16-18).



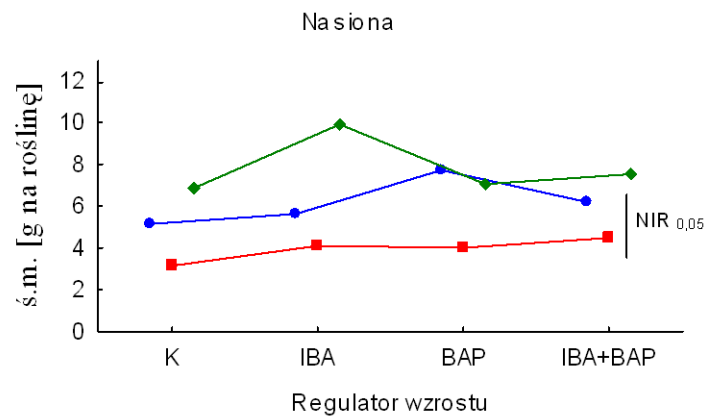
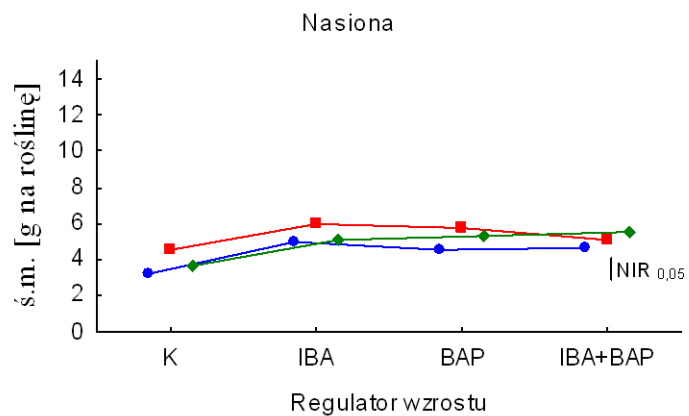
Rys. 16. Liczba strąków z jednej rośliny trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



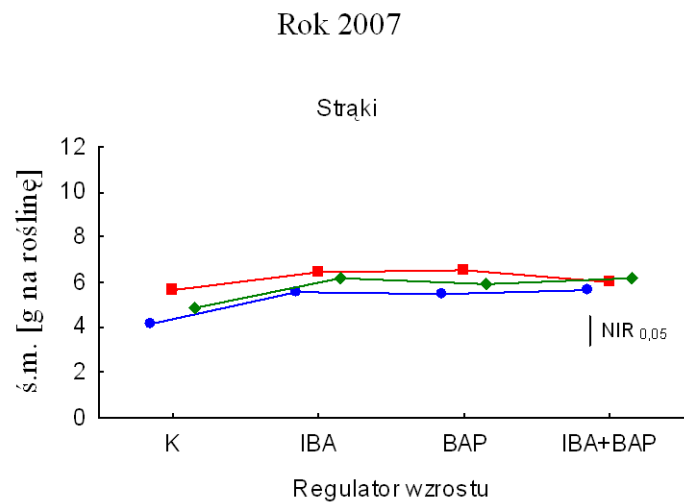
Jutro
Progres
Aldana



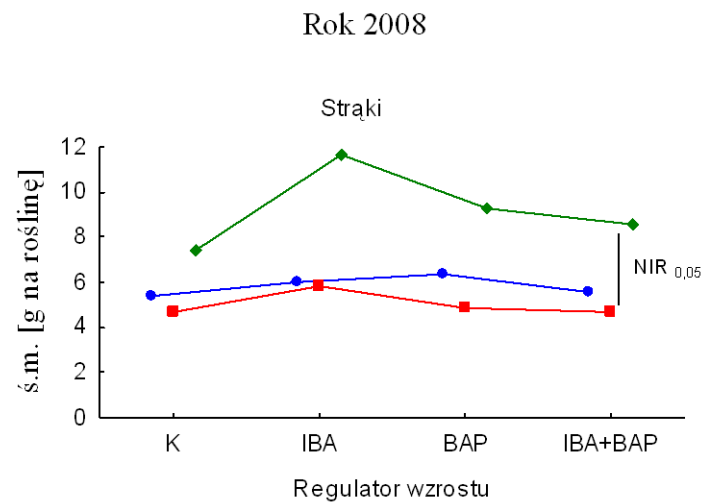
Jutro
Progres
Aldana



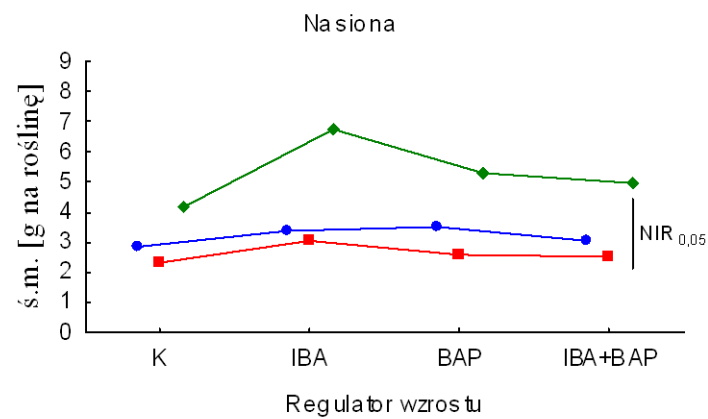
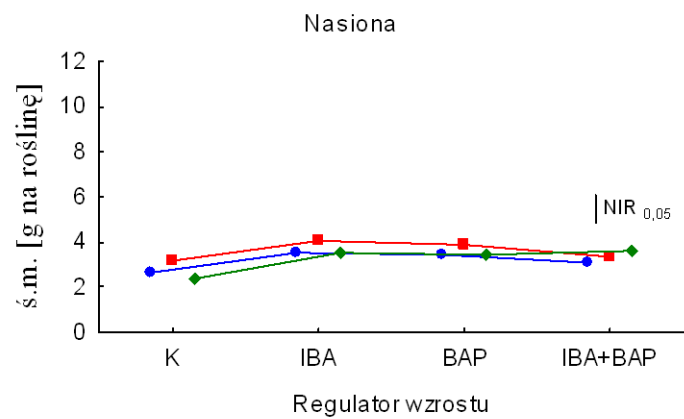
Rys. 17. Świeża masa strąków i nasion z jednej rośliny trzech odmian soi zwyczajnej u roślin opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz wykaz skrótów i symboli, str. 111.



Jutro
Progres
Aldana



Jutro
Progres
Aldana



Rys. 18. Sucha masa strąków i nasion z jednej rośliny trzech odmian soi zwyczajnej u roślin opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz wykaz skrótów, str. 111.

3.4. Wartość biologiczna soi zwyczajnej w latach 2007-2008

3.4.1. Zawartość makroelementów w nasionach soi

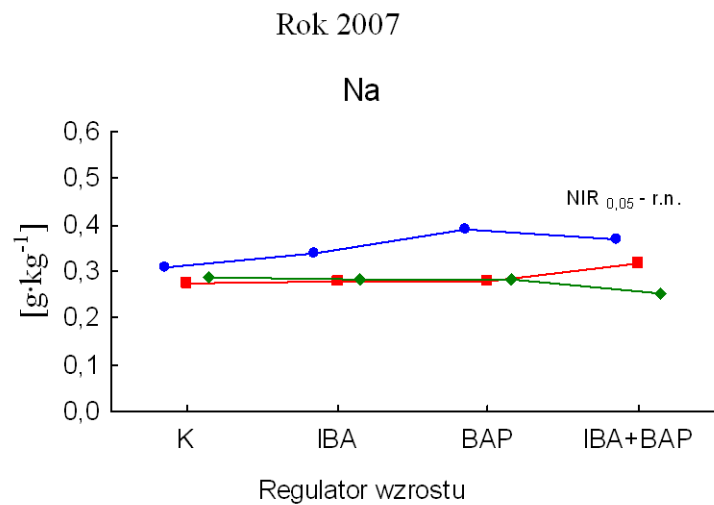
Zawartość makroelementów takich jak: Na, K, Mg, Ca, P i N-NO₃ w nasionach soi zestawiono w tabeli 10, natomiast interakcję na rys. 19-21.

Koncentracja badanych makroskładników w nasionach była zbliżona w obydwu latach badań, natomiast różnice w koncentracji poszczególnych składników mineralnych wystąpiły w zależności od odmiany i rodzaju regulatora wzrostu.

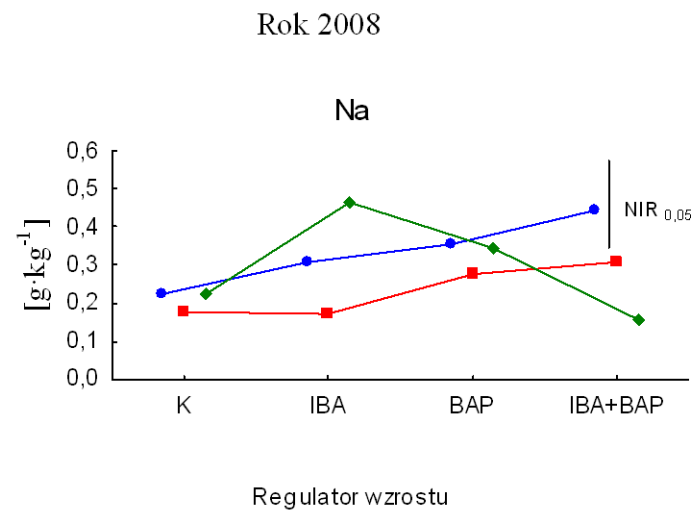
Tabela 10. Średnia zawartość składników mineralnych w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008.

Obiekt badań		Na	K	Mg	Ca	P	N-NO ₃
		[g·kg ⁻¹ s.m.]					[mg·kg ⁻¹ s.m.]
Rok 2007							
O	J	0,35	20,11	2,48	2,66	3,40	17,64
	P	0,29	20,25	2,48	2,16	3,51	15,81
	Al	0,28	20,14	2,49	1,98	3,57	12,96
R	K	0,29	19,71	2,43	1,94	3,43	14,53
	IBA	0,29	19,99	2,50	2,40	3,54	19,40
	BAP	0,32	20,72	2,52	2,39	3,50	14,31
	IBA+BAP	0,31	20,24	2,49	2,34	3,49	13,84
NIR _{0,05} dla	O	r.n.	r.n.	r.n.	0,409	r.n.	3,224
	R	r.n.	0,848	0,045	r.n.	r.n.	4,132
	OxR	r.n.	r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.
Rok 2008							
R	J	0,33	19,64	2,70	1,81	3,25	18
	P	0,23	20,04	2,79	1,93	3,38	20
	Al	0,30	20,21	2,78	1,87	3,13	17
O	K	0,21	19,44	2,72	1,76	3,16	21,68
	IBA	0,32	19,76	2,71	1,91	3,26	20,11
	BAP	0,33	20,33	2,79	1,98	3,28	15,82
	IBA+BAP	0,30	20,30	2,82	1,83	3,31	18,20
NIR _{0,05} dla	O	r.n.	r.n.	0,589	r.n.	0,236	r.n.
	R	r.n.	0,845	0,075	0,183	r.n.	5,561
	OxR	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.n.	r.n.

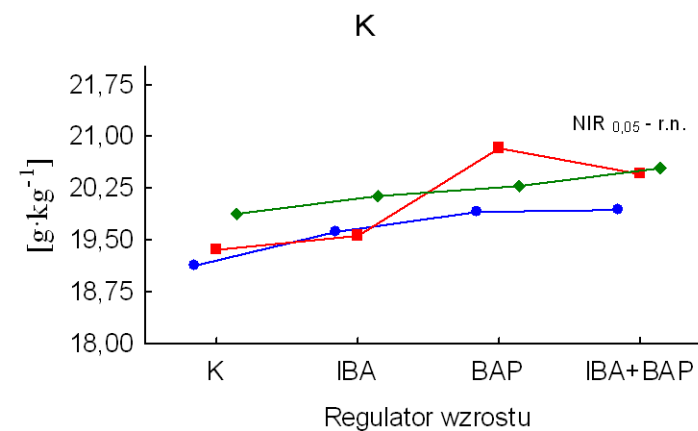
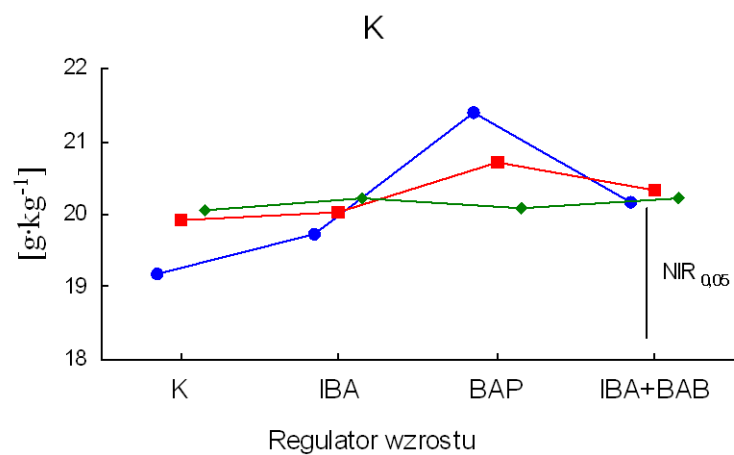
Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



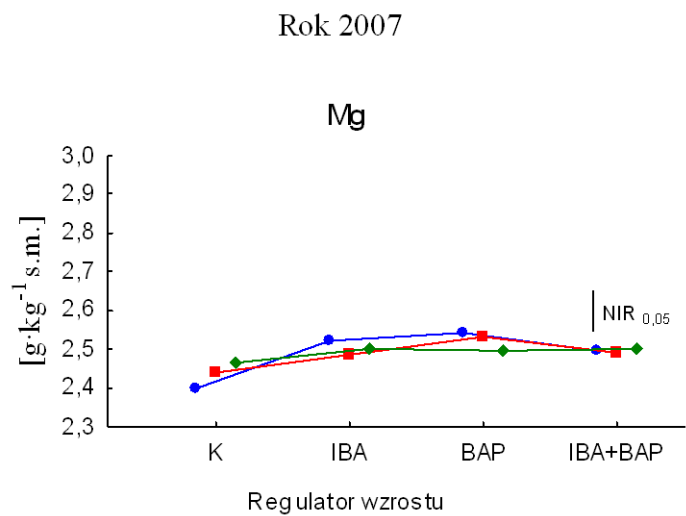
Jutro
Progres
Aldana



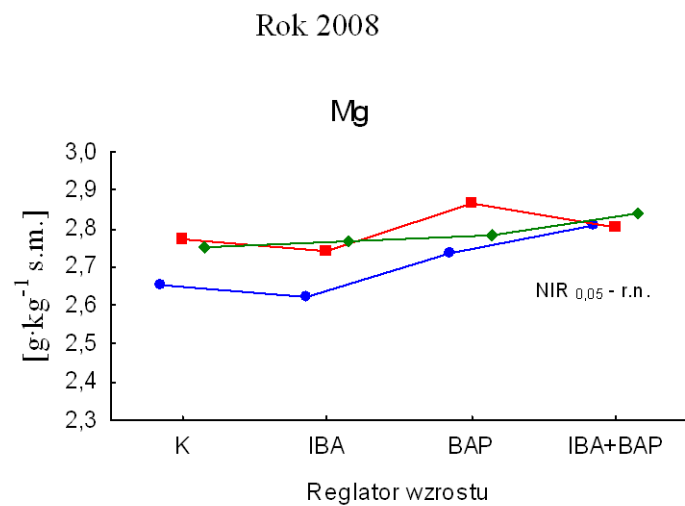
Jutro
Progres
Aldana



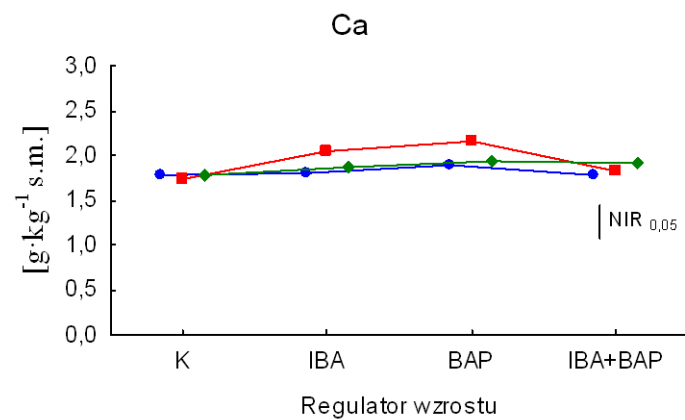
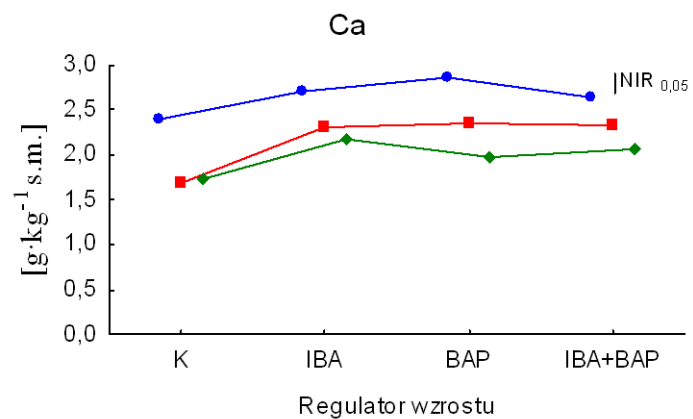
Rys. 19. Zawartość sodu i potasu w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej po zastosowaniu egzogennych regulatorów wzrostu w latach 2007-2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.



Jutro
Progres
Aldana

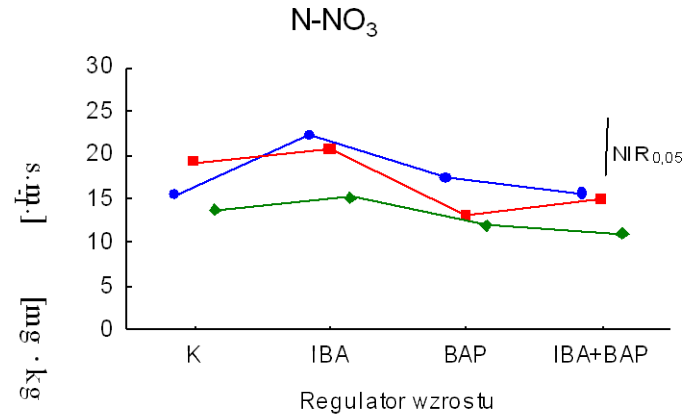


Jutro
Progres
Aldana



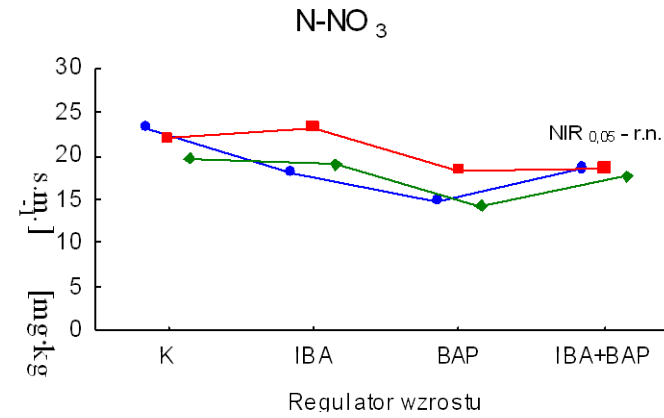
Rys. 20. Zawartość potasu i magnezu w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej u roślin opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007- 2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Rok 2007

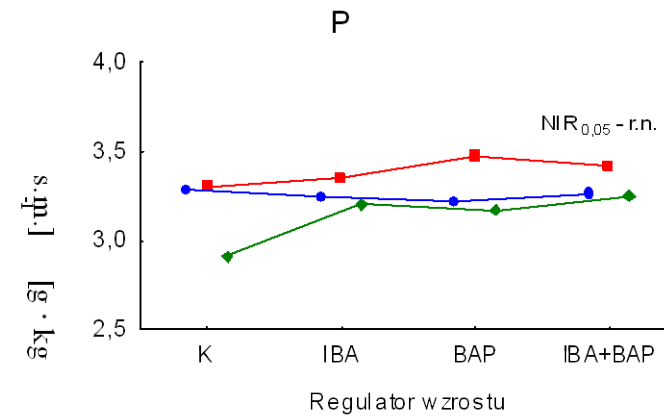
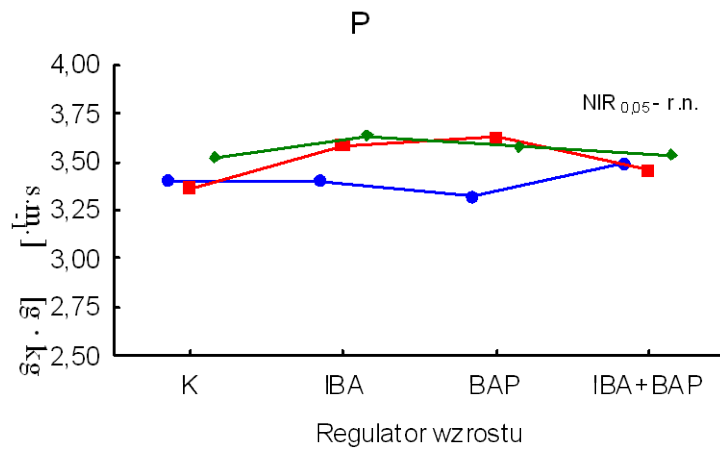


Jutro
Progres
Aldana

Rok 2008



Jutro
Progres
Aldana



Rys. 21. Zawartość azotanów i fosforu w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007 i 2008. Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

W obu latach, zawartość sodu w nasionach soi nie była różnicowana ani rodzajem regulatora wzrostu, ani odmianami. Stwierdzono natomiast istotną interakcję między odmianą Aldana a kwasem IBA, której efektem był znaczny wzrost tego pierwiastka.

Z kolei mieszanina IBA+BAP, u tej samej odmiany spowodowała gwałtowny spadek ilości sodu, a u odmiany Jutro wyraźny wzrost – rys.19.

Najwięcej potasu, niezależnie od roku badań gromadziły nasiona pochodzące z soi opryskiwanej BAP, istotnie więcej niż nasiona pochodzące z roślin kontrolnych. Poza tym w roku 2007 stwierdzono istotne współdziałanie odmiany Jutro z 6-benzyloaminopuryną w gromadzeniu potasu. W tej kombinacji było go najwięcej - średnio ok. 21,5 g·kg⁻¹. Cytokininina (BAP) stosowana oddzielnie w 2007 roku oraz w mieszaninie z auksyną (IBA) w 2008 roku, miały istotnie większy wpływ na gromadzenie magnezu w nasionach niż warunki kontrolne, czyli bez regulatorów. Między odmianami nie wykazano statystycznych różnic. Stwierdzono natomiast, że nasiona pochodzące z odmiany Jutro opryskiwanej IBA oraz BAP zawierały więcej tego makroelementu w porównaniu z nasionami pochodzącymi z roślin kontrolnych – rys. 20

W gromadzeniu wapnia istotny wpływ miały IBA oraz BAP, przy czym w drugim roku regulatory te znacznie zwiększyły zawartość wapnia w stosunku do roślin kontrolnych, bo o ok. 23%. Różnice w zawartości wapnia między odmianami wystąpiły tylko w pierwszym roku, mianowicie odmiana Jutro zgromadziła istotnie więcej wapnia w nasionach niż odmiany Progres i Aldana, odpowiednio o 19 i 26% - tab. 10. Istotna interakcja stwierdzona w roku 2007 wykazała, że największą zawartością wapnia w nasionach odznaczała się odmiana Jutro w kombinacji z BAP (średnio 2,86 g·kg⁻¹ s.m.), zaś najmniejszą odmiana Progres w warunkach kontrolnych, gdzie średnia zawartość tego pierwiastka wynosiła tylko 1,68 g·kg⁻¹ s.m. W roku 2008 również BAP miała największy wpływ, ale w kombinacji z odmianą Progres (średnio 2,15 g·kg⁻¹ s.m.) – rys. 20.

Istotne różnice w zawartości fosforu w nasionach soi wykazano jedynie w drugim roku badań (2008), tylko między odmianami. Nasiona odmiany Progres zgromadziły statystycznie więcej tego pierwiastka niż nasiona odmiany Aldana. Nie wykazano natomiast istotnych różnic w obrębie zastosowanych regulatorów wzrostu, ani też współdziałania czynników doświadczalnych – rys. 21.

Azot w formie azotanowej był gromadzony w różnych ilościach, zależnie od rodzaju regulatora wzrostu i odmiany - tab 10. W roku 2007, nasiona soi opryskanej IBA zgromadziły istotnie więcej N-NO₃ niż nasiona pochodzące z roślin kontrolnych i opryskanych innymi

regulatorami wzrostu, średnio o 33%. Stwierdzono również, że odmiana Jutro zawierała więcej azotanów niż odmiana Aldana. W tym samym roku wszystkie odmiany wykazały współdziałanie z IBA, powodując wzrost zawartości azotanów – rys. 21.

Natomiast w roku 2008 wykazano, iż wszystkie regulatory zmniejszyły koncentrację azotu azotanowego w nasionach soi, przy czym 6-benzylaminopuryna zmniejszyła istotnie. Zgromadziła prawie 30% mniej azotanów w porównaniu z roślinami kontrolnymi. Interakcja między odmianami i regulatorami wzrostu okazała się nieistotna, mimo że obserwowano spadek ilości azotu azotanowego w nasionach badanych odmian soi pod wpływem zastosowanych regulatorów – rys. 21.

Proporcje jonowe Ca:Mg oraz K:(Ca+Mg) w nasionach soi dla czynników głównych zestawiono w tabeli 11.

Proporcje jonów Ca:Mg w roku 2007 były zdecydowanie mniejsze niż w roku 2008, natomiast K:(Ca+Mg) w obu latach badań były zbliżone.

Tabela 11. Stosunek Ca:Mg i K:(Ca+Mg) w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej po opryskiwaniu roślin egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007-2008.

Obiekt badań		Ca:Mg	K:(Ca+Mg)
		Rok 2007	
O	J	1,06	3,91
	P	0,86	4,45
	Al	0,79	4,41
R	K	0,79	4,45
	IBA	0,95	4,07
	BAP	0,94	4,23
	IBA+BAP	0,94	4,40
NIR _{0,05} dla	O	0,165	0,435
	R	r.n.	r.n.
	OxR	r.n.	r.n.
		Rok 2008	
O	J	1,46	4,34
	P	1,45	4,24
	Al	1,48	4,33
R	K	1,54	4,33
	IBA	1,42	4,28
	BAP	1,41	4,26
	IBA+BAP	1,49	4,36
NIR _{0,05} dla	O	r.n.	r.n.
	R	r.n.	r.n.
	OxR	r.n.	r.n.

Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

Zastosowane regulatory wzrostu niezależnie od roku badań, nie miały wpływu na istotne zmiany w proporcjach tych składników. Takie zmiany wykazano między odmianami, ale tylko w pierwszym roku. Stwierdzono bowiem, że odmiana Jutro charakteryzowała się najszerszym stosunkiem jonowym Ca:Mg (1,06), natomiast odmiany Progres i Aldana najszerszym stosunkiem K:(Ca+Mg), wynoszącym odpowiednio 4,45 i 4,41.

3.4.2. Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach soi

Średnią zawartość aminokwasów siarkowych, tj. cysteiny i metioniny w nasionach soi dla czynników głównych w latach 2007-2008 zamieszczono w tabeli 12, natomiast interakcję między efektami głównymi przedstawiono na rys. 22.

Nasiona soi zawierały zdecydowanie więcej cysteiny niż metioniny. Zawartości poszczególnych aminokwasów były bardzo zbliżone w badanych latach.

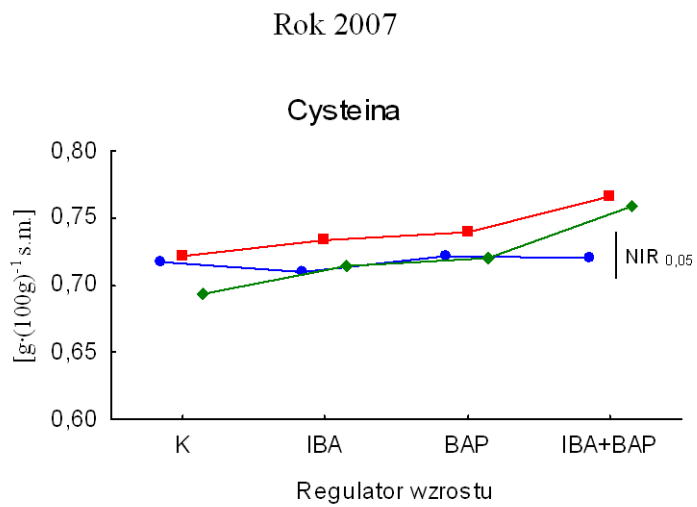
Stwierdzono istotne różnice w zawartości obu aminokwasów w nasionach, zarówno między rodzajami regulatorów wzrostu, jak i odmianami. Niezależnie od roku badań, na ogół mieszanina IBA+BAP miała istotny wpływ na wzrost zawartości cysteiny i metioniny w nasionach. Najmniejsze ilości tych aminokwasów odnotowano u roślin opryskiwanych wodą destylowaną (kontrolnych).

Tabela 12. Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach [w g·(100g)⁻¹] trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanej egzogennymi regulatorami wzrostu w latach 2007 i 2008.

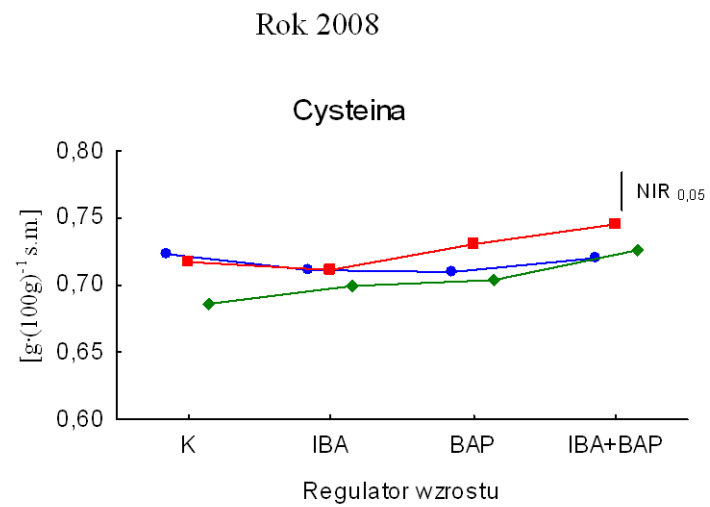
Obiekt badań		Cysteina	Metionina
		Rok 2007	
		[g·(100g) ⁻¹ s.m.]	
O	J	0,72	0,52
	P	0,74	0,55
	Al	0,72	0,55
R	K	0,71	0,52
	IBA	0,72	0,54
	BAP	0,73	0,54
	IBA+BAP	0,75	0,56
NIR _{0,05} dla	O	0,013	0,012
	R	0,017	0,015
	OxR	r.i.	r.i.
		Rok 2008	
O	J	0,72	0,52
	P	0,73	0,52
	Al	0,70	0,53
R	K	0,71	0,52
	IBA	0,72	0,52
	BAP	0,73	0,53
	IBA+BAP	0,75	0,53
NIR _{0,05} dla	O	0,016	0,011
	R	0,013	r.n.
	OxR	r.i.	r.i.

Objaśnienia skrótów, patrz tabela 5, str., 33.

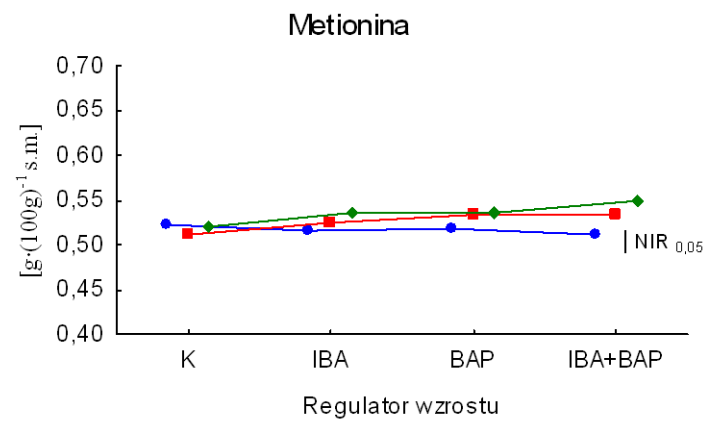
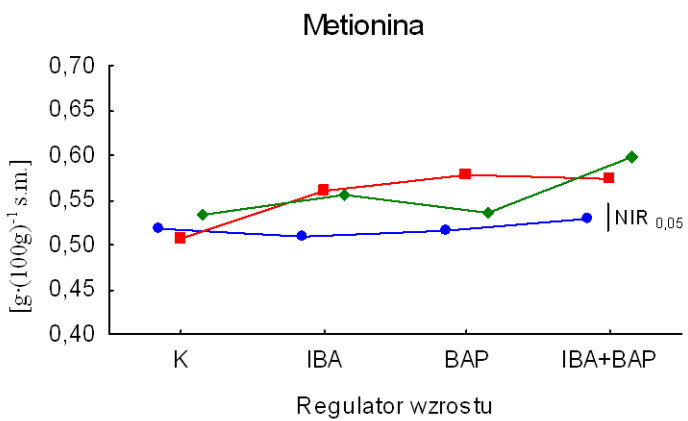
W roku 2007 największą zawartością cysteiny w nasionach charakteryzowała się odmiana Progres, istotnie mniejszą odmiany Jutro i Aldana.



Jutro
Progres
Aldana



Jutro
Progres
Aldana



Rys. 22. Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach trzech odmian soi zwyczajnej po opryskaniu roślin regulatorami wzrostu w latach 2007-2008. Objasnienia skrótów, patrz tabela 5, str. 33.

W przypadku metioniny najwięcej tego aminokwasu zawierały nasiona odmian Progres i Aldana, zaś stosunkowo mniej odmiana Jutro.

Wykazano również współdziałanie mieszanki IBA+BAP z odmianą Aldana, w wyniku, którego zawartość cysteiny i metioniny istotnie wzrosła w porównaniu z warunkami kontrolnymi, średnio o 10% - rys. 22. Podobny wzrost zawartości cysteiny wykazano w nasionach odmiany Progres pod wpływem tej samej mieszanki. U odmiany tej stwierdzono także istotny wzrost zawartości metioniny we wszystkich wariantach z zastosowanymi regulatorami, w porównaniu z kontrolą był to wzrost o 10 % z IBA, 13% z IBA+BAP i 14% z BAP.

W roku 2008, podobnie jak w roku poprzednim, najwięcej cysteiny w nasionach zawierała odmiana Progres, zaś najmniej odmiana Aldana.

Analizując zachodzącą interakcję, można stwierdzić, że mieszanka regulatorów miała wpływ na zwiększenie zawartości cysteiny w nasionach odmian Aldana i Progres, osiągając w przypadku odmiany Progres największą wartość (średnio $0,74 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$), co spowodowało 5 % wzrost w porównaniu z nasionami pochodzącymi z roślin kontrolnych. Wykazano również znaczny wzrost metioniny po zastosowaniu mieszanki regulatorów w nasionach odmiany Aldana (średnio $0,55\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

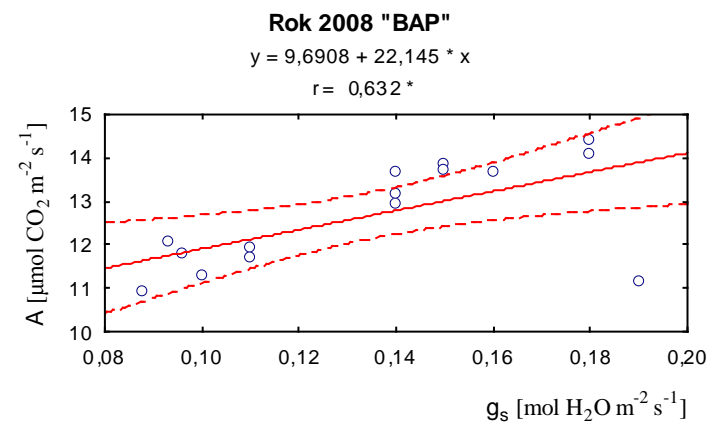
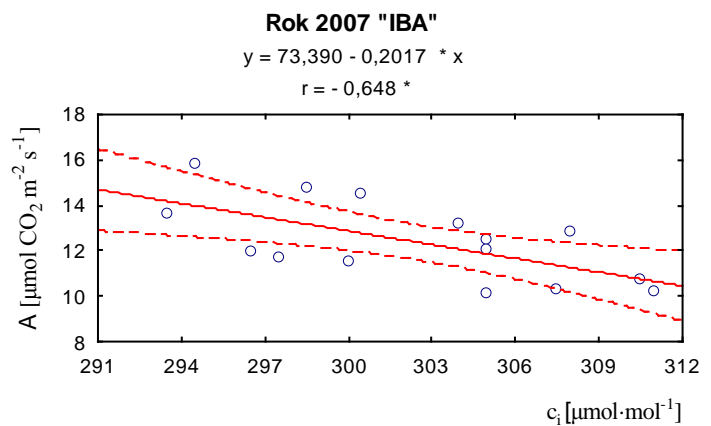
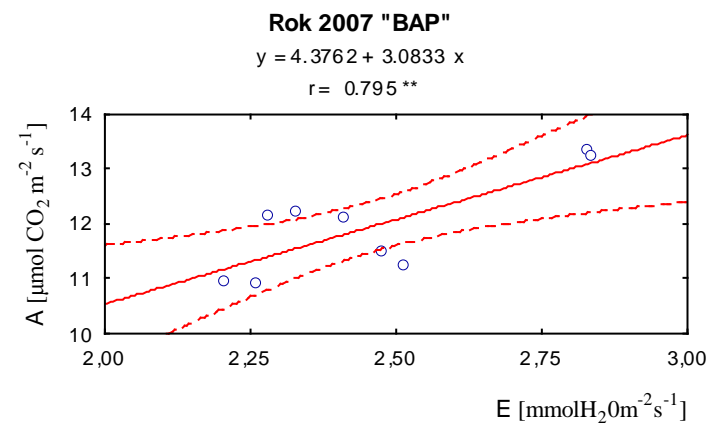
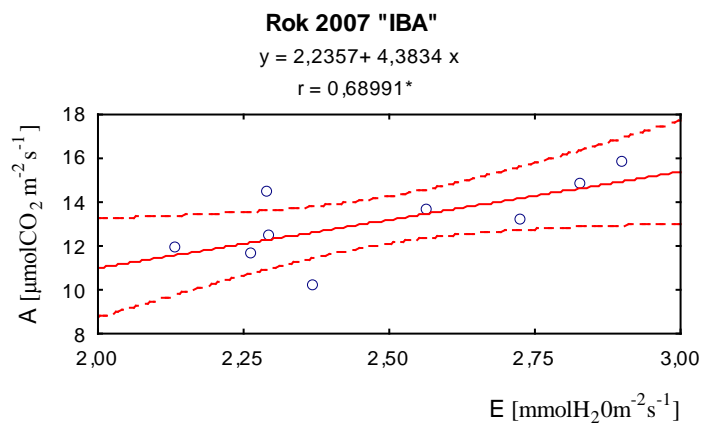
3.5. Zależności pomiędzy parametrami fizjologicznymi i biometrycznymi w latach 2007-2008

3.5.1. Korelacje między parametrami wymiany gazowej

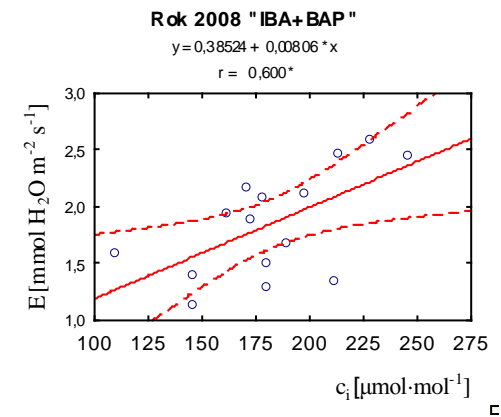
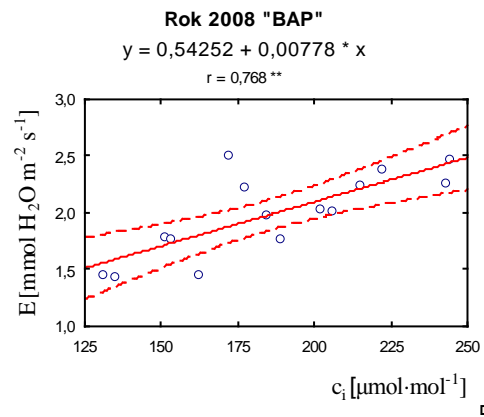
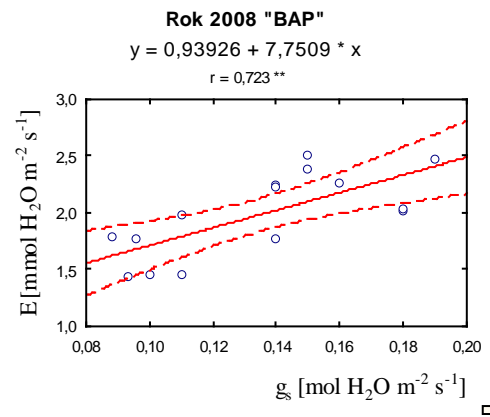
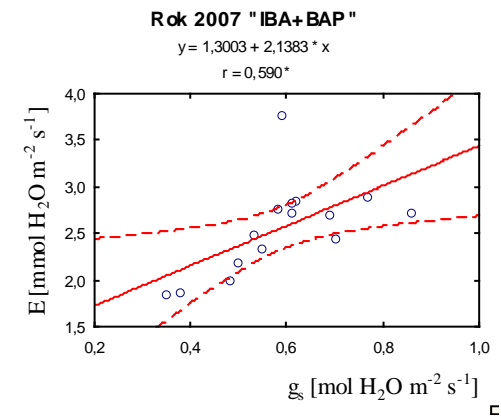
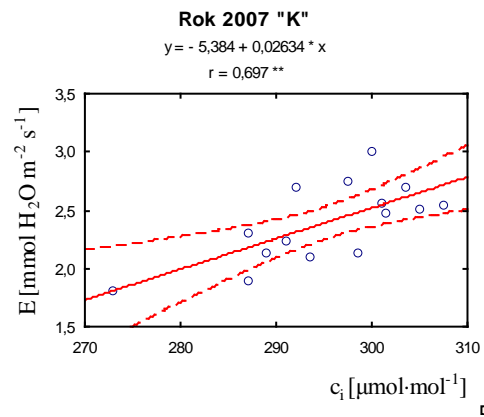
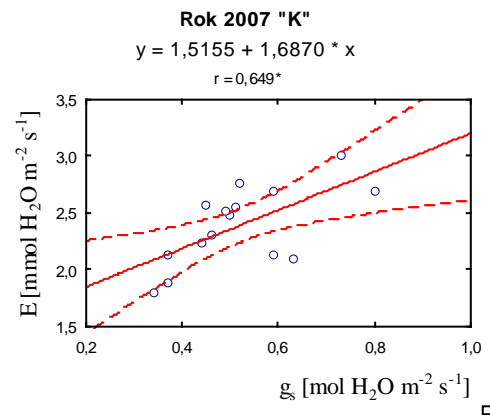
Na podstawie wyników z lat 2007-2008 przeprowadzono analizę korelacji wspólną dla wszystkich odmian soi, w zależności od rodzaju regulatora wzrostu.

Wszystkie istotne zależności, stwierdzone między asymilacją (A) a transpiracją (E) oraz między asymilacją (A) i transpiracją (E) a przewodnością szparkową (g_s) i stężeniem CO_2 w przestworach międzykomórkowych (c_i) przedstawiono graficznie na rysunkach 23 i 24.

Istotne dodatnie zależności między asymilacją (A) a transpiracją (E) wystąpiły w pierwszym roku badań (2007) w wariantach z IBA i BAP, o czym świadczyły wysokie wartości współczynników korelacji (r), wynoszące odpowiednio 0,68 i 0,79.



Rys. 23. Istotne prostoliniowe zależności pomiędzy asymilacją (A), a transpiracją (E) oraz pomiędzy asymilacją (A), a stężeniem CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i) i przewodnością szparkową (g_s) po zastosowaniu regulatorów wzrostu w latach 2007- 2008. Objaśnienia skrótów, patrz wykaz skrótów i symboli, str. 111.



Rys. 24. Istotne prostoliniowe pomiędzy transpiracją (E), a przewodnością szparkową (g_s) i stężeniem dwutlenku węgla w przestworach międzykomórkowych (c_i) po zastosowaniu egzogennych regulatorów wzrostu w latach 2007 - 2008. Objaśnienia skrótów, patrz wykaz skrótów i symboli, str. 111.

W roku tym asymilacja liści (A) była istotnie, ale ujemnie skorelowana ze stężeniem CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i), wartość współczynnika korelacji wyniosła (-0,65). Natomiast w roku następnym, w wariancie z IBA wykazano dodatnią istotność korelacji między asymilacją a przewodnością szparkową dla pary wodnej (g_s) – rys. 23.

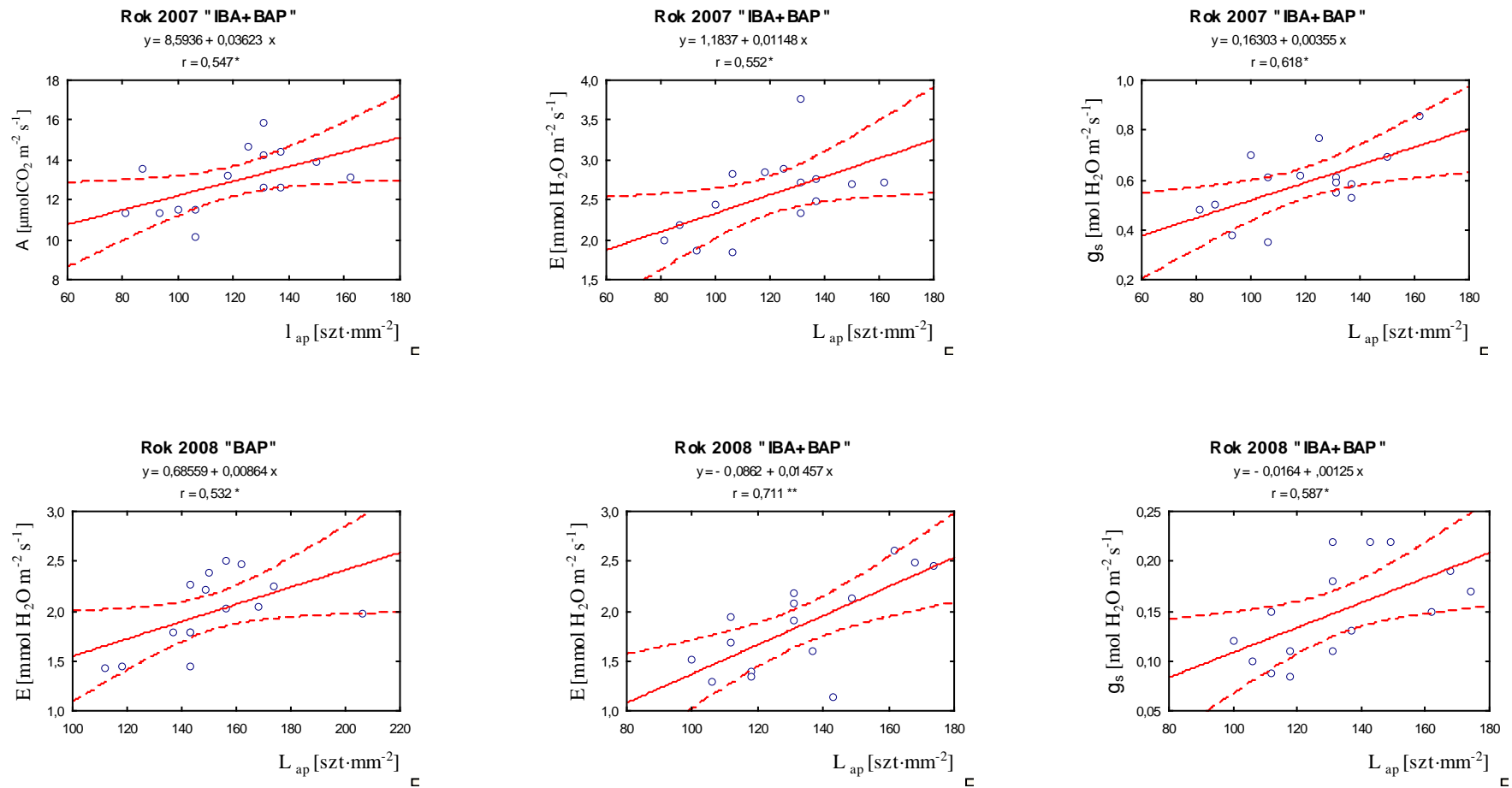
Istotne dodatnie korelacje między transpiracją (E) a przewodnością szparkową (g_s) stwierdzono w wariantach: kontrolnym i z mieszaniną regulatorów wzrostu (w roku 2007), zaś w roku 2008 w wariancie z roślinami opryskanymi BAP. Analiza współczynników korelacji wykazała, że intensywność transpiracji (E) rosła istotnie wraz ze wzrostem stężenia CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i). Stwierdzono to w wariancie kontrolnym w pierwszym roku badań, i w wariancie z BAP w drugim roku – rys. 24.

3.5.2. Korelacje pomiędzy parametrami wymiany gazowej a parametrami biometrycznymi aparatów szparkowych

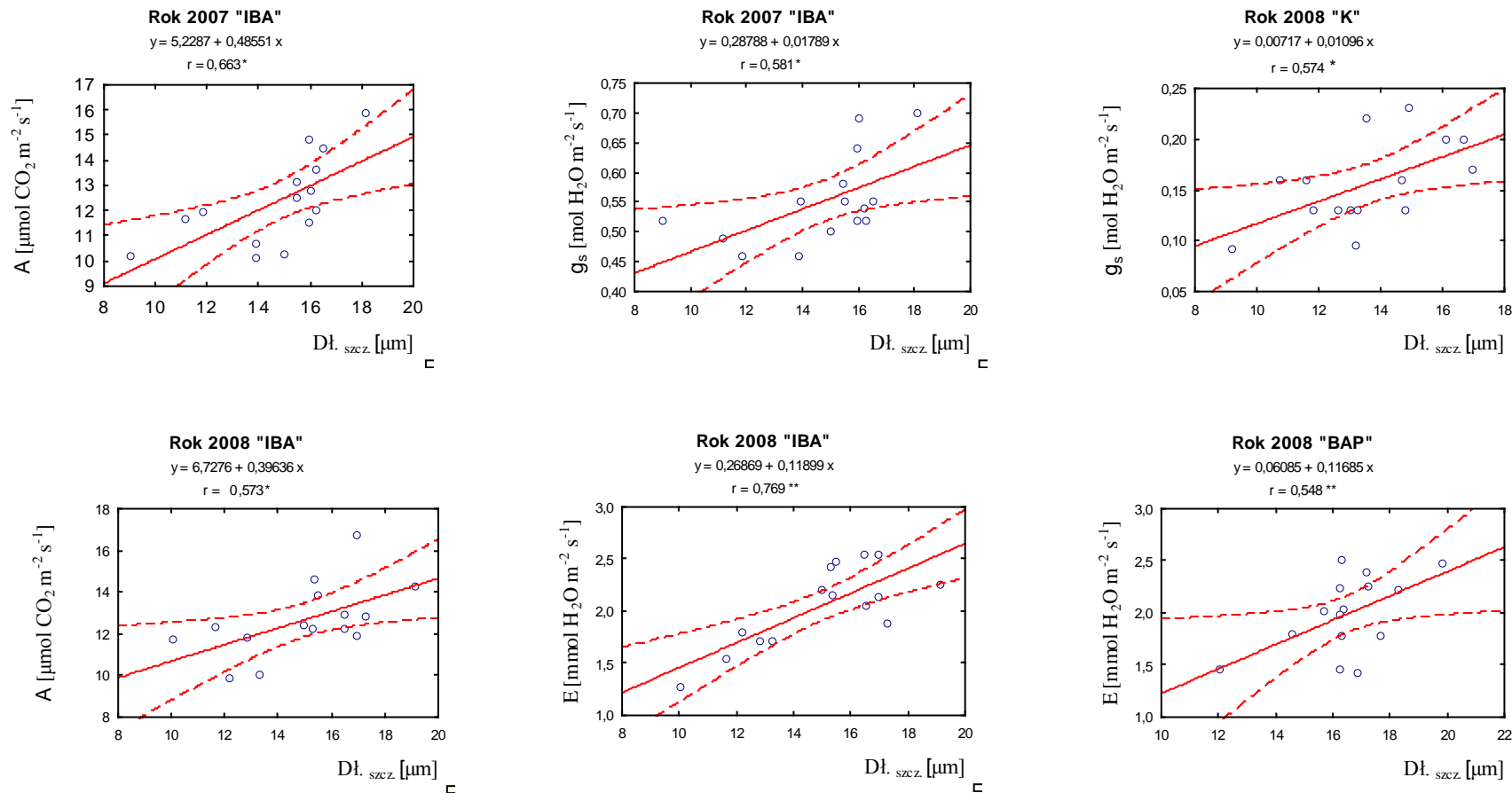
Istotne zależności, stwierdzone między asymilacją (A), transpiracją (E), przewodnością szparkową (g_s), stężeniem CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i) a liczbą aparatów szparkowych (L_{ap}) i długością szczeliny szparkowej (D_{l_{szcz}}) przedstawiono graficznie na rysunkach 25-26.

Większość wykazanych istotnych zależności między parametrami wymiany gazowej a liczbą aparatów szparkowych na jednostce powierzchni liści wykazano dla wariantu z mieszaniną regulatorów wzrostu (IBA+BAP) – rys. 25. Mianowicie, w obu latach badań, zarówno intensywność transpiracji, jak i przewodność szparkowa dla pary wodnej były dodatnio skorelowane z liczbą aparatów szparkowych. Podobną zależność stwierdzono też w przypadku asymilacji, ale tylko w roku 2007. Wartości współczynników wymienionych korelacji wahały się w granicach 0,55-0,71. Dodatkowo wykazano dodatnią korelację między intensywnością transpiracji a liczbą aparatów szparkowych warunkach stosowania BAP.

Analiza współczynników korelacji wykazała, że większość istotnych zależności między parametrami wymiany gazowej a długością szczelin szparkowych wystąpiła w wariancie z IBA – rys. 26. W obu latach badań, intensywność asymilacji (A) rosła istotnie wraz z długością szczelin szparkowych. Poza tym w roku 2008 wykazano dodatnią korelację między transpiracją (E) a długością szczelin szparkowych (D_{l_{szcz}}) u roślin opryskiwanych IBA oraz BAP, ich współczynniki korelacji wynosiły odpowiednio **0,769 i 0,548**.



Rys. 25. Istotne prostoliniowe pomiędzy asymilacją (A), transpiracją (E) oraz przewodnością szparkową (g_s), a liczbą aparatów szparkowych (L_{ap}) występujących na 1mm^2 epidermy blaszki liściowej w latach 2007 -2008. Objasnienia skrótów, patrz wykaz skrótów i symboli, str. 111.



Rys. 26. Istotne prostoliniowe zależności pomiędzy asymilacją (A), transpiracją (E) oraz przewodnością szparkową (g_s), a długością szczeliny szparkowej (Dł. szcz.) w latach 2007-2008. Objasnienia skrótów, patrz w wykazie skrótów i symboli, str. 111.

W roku 2007 wykazano również dodatnią zależność między przewodnością szparkową a długością szczelin dla warunków kontrolnych i z IBA.

3.5.3. Korelacje pomiędzy parametrami wymiany gazowej a plonem

Istotne zależności między plonem obejmującym świeżą (ś.m.s) i suchą (s.m.n) masę strąków oraz świeżą (ś.m.n.) i suchą masę (s.m.n) nasion a asymilacją (A), transpiracją (E), przewodnością szparkową (g_s) i stężeniem CO_2 w przestworach międzykomórkowych (c_i) zestawiono w tabeli 13.

W roku 2007 stwierdzono niewiele istotnych korelacji między wyżej wymienionymi parametrami. Natomiast w roku 2008 było ich zdecydowanie więcej. Dodatnią istotną i wysoce istotną korelację pomiędzy świeżą i suchą masą nasion i strąków a intensywnością asymilacji stwierdzono we wszystkich wariantach doświadczenia, przy czym najwyższe współczynniki korelacji, wykazano u roślin opryskiwanych BAP (od 0,793 do 0,909).

W wariantach z BAP oraz z mieszaniną IBA+BAP wykazano prostoliniową dodatnią zależność pomiędzy świeżą masą strąków i nasion a przewodnością szparkową. Z kolei w warunkach stosowania mieszaniny IBA+BAP wykazano, że sucha masa strąków oraz nasion była ujemnie skorelowana ze stężeniem CO_2 w przestworach międzykomórkowych.

Tabela 13. Równania regresji prostoliniowej i współczynniki korelacji dla zależności pomiędzy plonem soi zwyczajnej (y) a parametrami wymiany gazowej (x) w latach 2007- 2008.

Wariant	Cecha		Równanie regresji	Współczynnik korelacji r
	y	x		
Rok 2007				
K	ś.m.n.	E	$y = 1,808 + 0,158 x$	0,556 *
	ś.m.s.	c _i	$y = 276,021 + 2,856 x$	0,525 *
IBA	ś.m.s.	c _i	$y = 286,123 + 2,049 x$	0,535*
Rok 2008				
K	ś.m.s.	A	$y = 7,871 + 0,338 x$	0,686 *
	ś.m.n.	A	$y = 7,927 + 0,621 x$	0,649 *
	s.m.s.	A	$y = 5,105 + 1,044 x$	0,757 **
	s.m.n.	A	$y = 5,764 + 1,717 x$	0,781 **
IBA	ś.m.s.	A	$y = 11,045 + 0,124 x$	0,544 *
	ś.m.n.	A	$y = 10,977 + 0,238 x$	0,559 *
	s.m.n.	A	$y = 11,053 + 0,471 x$	0,793 **
BAP	ś.m.s.	A	$y = 10,850 + 0,186 x$	0,909 **
	ś.m.n.	A	$y = 10,833 + 0,342 x$	0,886 **
	s.m.n.	A	$y = 11,053 + 0,471 x$	0,793 **
	ś.m.s.	E	$y = 1,212 + 0,056 x$	0,699 **
	ś.m.s.	g _s	$y = 0,081 + 0,005 x$	0,640 *
	ś.m.n.	g _s	$y = 0,068 + 0,012 x$	0,680 **
	ś.m.s.	c _i	$y = 96,545 + 6,846 x$	0,711 **
IBA + BAP	ś.m.n.	A	$y = 9,941 + 0,415 x$	0,545 *
	s.m.s.	A	$y = 9,947 + 0,388 x$	0,581 *
	s.m.n.	A	$y = 10,065 + 0,656 x$	0,606 *
	ś.m.s.	g _s	$y = 0,082 + 0,006 x$	0,607 *
	ś.m.n.	g _s	$y = 0,072 + 0,012 x$	0,641 *
	s.m.s.	g _s	$y = 0,091 + 0,009 x$	0,515 *
	s.m.s.	c _i	$y = 228,821 - 7,203 x$	- 0,584 *
	s.m.n.	c _i	$y = 226,782 - 12,219 x$	- 0,612 *

Objaśnienia skrótów, patrz wykaz skrótów i symboli str. 111.

Dyskusja

Powodzenie uprawy roślin strączkowych zależy od wielu czynników. Determinującymi są warunki klimatyczne panujące w czasie wegetacji roślin, zwłaszcza temperatura i opady (Śnieg i in. 2004; Kotecki 1990). Warunki panujące w okresach wegetacyjnych 2007-2008 były zróżnicowane, co w konsekwencji rzutowało na wyniki przeprowadzonego doświadczenia. Sezon 2007 był niekorzystny dla uprawy soi, ze względu na bardzo intensywne opady w lipcu (217% normy) przy bardzo niskim nasłonecznieniu (65% normy). Soja jest rośliną ciepłolubną i wymagającą dużego nasłonecznienia, zwłaszcza w okresie kwitnienia (Boros 2002). Okres wegetacyjny 2008 charakteryzował się korzystniejszymi warunkami klimatycznymi niż 2007, tj. wyższą średnią temperaturą powietrza i większym nasłonecznieniem, ok. 101% normy.

Przebieg warunków meteorologicznych ma duży wpływ na fenologię roślin soi (Kołpak 1996). W badaniach własnych w roku 2007 długo utrzymujące się obfite opady deszczu prawdopodobnie były przyczyną wydłużenia się okresu wegetacji odmian Jutro i Progres, o 5-7 dni.. Długość poszczególnych faz fenologicznych zależała też od rodzaju regulatora wzrostu. Opryskiwanie roślin IBA oraz IBA+BAP przyspieszyło zawiązywanie, rozwój oraz dojrzewanie strąków u wszystkich badanych odmian, a tym samym i skrócenie okresu wegetacji o kilka dni. W literaturze przedmiotu jest niewiele doniesień na temat wpływu egzogennych regulatorów wzrostu na długość okresów rozwojowych roślin. Wcześniejsze dojrzewanie owoców u roślin traktowanych auksynami obserwowała Starck (1983), która tłumaczyła, że organ bogaty w ten hormon powoduje intensywniejsze przyciąganie substancji pokarmowych. Z kolei Jankiewicz (1997) oraz Khan i in. (2002) donoszą o wzmożonej produkcji etylenu przez tkanki roślinne po zastosowaniu syntetycznych auksyn, co mogło być również przyczyną szybszego dojrzewania strąków i rozwoju nasion. Ponadto auksyny wpływają na powiększanie komórek, przez co stymulują wzrost i rozwój owocu (McDonald 1997; Szydło 2003).

Wzrost i rozwój oraz plonowanie roślin są związane przede wszystkim z aktywnością podstawowych procesów fizjologicznych, takich jak: asymilacja i transpiracja (Simon 1994; Michałek i Borowski 1998). Badane odmiany soi najwyższą aktywność fizjologiczną, wyrażoną intensywnością asymilacji i transpiracji wykazały w okresie kwitnienia. Natomiast w okresie rozwoju nasion stwierdzono znaczny spadek intensywności obydwu procesów, prawie 3-4-krotny. Radykalny spadek parametrów wymiany gazowej u dwóch odmian soi: Ludou 4 i Ludou 11 w miarę ich starzenia wykazali Fu i in. (2000). Stwierdzili oni, iż

najwyższa wydajność fotosyntetyczna u roślin jest między 10 a 17 dniem, licząc od pierwszego dnia kwitnienia, po czym liście starzeją się, obniżając swoją aktywność fotosyntetyczną nawet pięciokrotnie, co przypada na 30-40 dzień od początku kwitnienia, czyli fazę rozwoju nasion. Odmiennego zdania jest Subrahmanyam (2002), który największą wydajność asymilacji i transpiracji roślin soi stwierdził w fazie wykształcania nasion. Zwraca też uwagę na to, że intensywność tych procesów może ulegać dużej zmienności. Tłumaczy to różnym zapotrzebowaniem roślin na produkty fotosyntezy, zależnym od stadium rozwojowego, odmiany, właściwości genetycznych rośliny, środowiska zewnętrznego i warunków siedliskowych. Takie zmiany w aktywności fotosyntetycznej roślin obserwowali także Luquez (1997), Starck (1999) oraz Wróbel (2002).

Gwałtowne obniżenie intensywności procesów asymilacji i transpiracji w fazie wykształcania nasion w badaniach własnych, w roku 2008 było spowodowane nie tylko naturalnym procesem starzenia, ale też długo utrzymującą się wysoką temperaturą powietrza i małymi opadami. W takich warunkach rośliny broniąc się przed utratą wody zamykają aparaty szparkowe, równocześnie ograniczając dostęp CO₂ do wnętrza komórki niezbędnego w procesach fotosyntezy (Sowiński i in. 1991, Muller i Bergman 1996, Michałek 1999, Chaves i in. 2002).

W autorskim doświadczeniu mierzono wielkości parametrów wymiany gazowej trzech odmian soi zwyczajnej opryskiwanych egzogennymi regulatorami wzrostu, a także podjęto próbę określenia wzajemnych zależności pomiędzy tymi parametrami. Wykazano istotny wpływ, zwłaszcza mieszaniny auksyny i cytokininy na wzrost intensywności asymilacji CO₂ u badanych odmian soi. Kwas indolilo-3-masłowy (IBA) i 6-bezncyloaminopuryna (BAP) stosowane oddzielnie też wywierały znaczący wpływ na ten proces, albo go intensyfikując bądź obniżając, zależnie od roku badan i fazy rozwojowej. Bardzo różnie też reagowały poszczególne odmiany soi. Na przykład w roku 2008 rośliny wszystkich wariantów doświadczenia z zastosowanymi regulatorami wzrostu wykazywały istotnie zwiększoną asymilację, przy czym najwyższą osiągnęły rośliny opryskiwane IBA – 19,70 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Jest to potwierdzeniem badan Ahharfa i in. (2006), którzy traktując rośliny jęczmienia kwasem IAA w stężeniu 30 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, stwierdzili istotny wzrost asymilacji CO₂. Podobne wyniki uzyskał Aldesque (2000) na młodych siewkach jęczmienia, stosując IAA w stężeniu 25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na ziarniaki, które moczył w roztworze tego hormonu. Stosował on również większe dawki syntetycznej auksyny (50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), po czym stwierdził wyraźne obniżenie procesów wymiany gazowej roślin. Taką samą reakcją roślin zaobserwowała Pospišilova (2003), która zwraca uwagę na modyfikację parametrów wymiany gazowej w

zależności od koncentracji danego regulatora wzrostu. Niektórzy autorzy (Muthuchelian i in. 1994; Pandey 2000; Jiang i Xu 2001; Pandey i in. 2003) donoszą o wzroście asymilacji CO₂ w liściach soi, bawełny oraz dziwonii po zastosowaniu syntetycznych auksyn i cytokinin, spowodowanym prawdopodobnie zwiększeniem aktywności enzymu fotosyntetycznego, tj. karboksylazy/oksygenezy rybulozo-1,5-bifosforanu (Rubisco). Stwierdzono, bowiem istotny wzrost aktywności tego enzymu u roślin traktowanych syntetyczną auksyną i cytokininą.

W badaniach własnych wykazano istotnie dodatnią korelację pomiędzy intensywnością procesów: asymilacji (A) a transpiracji (E) oraz pomiędzy przewodnictwem szparkowym (g_s) a intensywnością powyższych procesów. Natomiast korelacja pomiędzy asymilacją i transpiracją a stężeniem CO₂ w przestworach międzykomórkowych (c_i) była bądź dodatnia bądź ujemna w zależności od wariantu doświadczenia. Dodatnia korelacja pomiędzy asymilacją i transpiracją, a przewodnością szparkową świadczy o sprawnym wymianie gazowej pomiędzy liściem a otoczeniem, co potwierdzają badania Subrahmanyama (2002). Wykazał on również w liściach soi, istotnie dodatnią korelację pomiędzy asymilacją a transpiracją i przewodnością szparkową. Ten sam autor stwierdził, podobnie jak w niniejszych badaniach autorskich, istotnie ujemną korelację pomiędzy asymilacją a stężeniem CO₂ w przestworach międzykomórkowych. Chavnes i in. (2002) tłumaczą, że podwyższenie stężenia CO₂ w przestworach międzykomórkowych może być przyczyną obniżenia dostępu substratów potrzebnych do procesów asymilacji.

Sprawniejsza wymiana gazowa po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu następuje prawdopodobnie też poprzez ich oddziaływanie na rozwój i stan aparatów szparkowych (aperturę) oraz ich reakcję, w której następuje otwieranie, bądź zamykanie aparatów (Lechowski 1997; Gupta i in. 1999; Dood 2003; Pospíšilová 2003). Dowodzą tego również wyniki badań przeprowadzone przez Diettricha i in. (1992), Lechowskiego (1997), którzy po zastosowaniu syntetycznej cytokininy zaobserwowali wzmożone otwieranie aparatów szparkowych na roślinach pszenca i naparstnicy, co w konsekwencji podniosło wydajność gazową tych roślin. Otwarte aparaty umożliwiają dostęp CO₂ do wnętrza liścia i dyfuzję pary wodnej pomiędzy liściem, a otoczeniem zewnętrznym (Zeiger 1983). Regulują one przewodność szparkową poprzez stopień rozwarcia szparek (Klamkowski i in. 2008) podnosząc tym samym intensywność danych procesów (Pospíšilova 2003; Saibo i in. 2003). Aparaty szparkowe są ważnym czynnikiem produktywności roślin, ponieważ regulują aktywność fotosyntetyczną (Jones 1998; Maleszewski i Kozłowska-Szerenos 1998). Klamkowski i in (2008) twierdzą, iż większe zagęszczenie aparatów szparkowych na powierzchni liścia truskawki ma odzwierciedlenie w intensywniejszym przewodnictwie

szparkowym. Wzrost wymiany gazowej liści soi spowodowanych większą liczbą aparatów szparkowych wykazali Luquez i in. (1997), którzy stwierdzili dodatnią korelację pomiędzy transpiracją a przewodnością szparkową, szczególnie na dolnej epidermie, gdzie było zlokalizowane 70% znajdujących się aparatów szparkowych. Intensywność wymiany gazowej jest ściśle powiązana z przewodnictwem szparkowym, co sugeruje, iż zmiana liczby aparatów szparkowych powinna oddziaływać na wielkość fotosyntezy i transpiracji (Klamkowski i in. 2008). Tezę taką potwierdzają badania własne, w których stwierdzono istotnie dodatnią korelację pomiędzy asymilacją, transpiracją i przewodnością szparkową a liczbą aparatów szparkowych na mm² epidermy oraz długością szczeliny szparkowej w wariantach z auksyną, cytokininą i mieszaniną tych związków. W literaturze mało jest doniesień dotyczących zależności pomiędzy liczbą aparatów szparkowych a wymianą gazową w warunkach stosowania regulatorów wzrostu. Większość badań dotyczących takich zależności była prowadzona w warunkach stresowych dla roślin, tj. przy niedoborze wody, czy też zasoleniu podłoża. Istotnie dodatnią korelację w takich warunkach pomiędzy natężeniem transpiracji i asymilacji a liczbą aparatów szparkowych stwierdzili Klamkowski i in. (2008) badając rośliny truskawki oraz Kundu i Tigerstedt (1998) robiąc pomiary liści miotły indyjskiej.

W przeprowadzonych badaniach (2007 i 2008) opryskiwanie soi syntetycznymi regulatorami wzrostu miało wpływ na liczbę aparatów szparkowych na jednostce powierzchni, a także na ich wielkość. Bowiem liczba aparatów szparkowych jak i ich długość zwiększyła się na dolnej epidermie pod wpływem BAP i IBA+BAP, natomiast szerokość i długość szczelin aparatów szparkowych, dodatkowo jeszcze pod wpływem IBA. Z kolei wśród odmian soi, największą ich liczbą na jednostce powierzchni charakteryzowała się odmiana Jutro, u której po opryskaniu roślin BAP (rok 2007) i IBA+BAP (rok 2008) zaobserwowano najwięcej aparatów na dolnej epidermie blaszki liściowej.

Badania wykazały, że soja ma liście amfistomatyczne, u których aparaty rozmieszczone są na dolnej i górnej epidermie liści. Na dolnej epidermie było ich średnio trzy razy więcej niż górnej, co jest potwierdzeniem wyników badań Luqueza (1997) donoszącego o znacznie większej ich liczbie na dolnej epidermie soi.

Produktywność roślin zależy w ogromnej mierze od najistotniejszego wewnętrznego czynnika fotosyntetycznego, jakim jest zawartość barwników asymilacyjnych. W badaniach własnych opryskiwanie roślin odmiany Aldana kwasem indoli-3-masłowym zwiększyło zawartość chlorofilu całkowitego i karotenoidów. Podobne wyniki są uzyskiwali inni autorzy. Na przykład Aldesuge (2000) stosując na pszenicę inną auksynę, mianowicie kwas indolilo-3-octowy (IAA) w stężeniu 25 mg·kg⁻¹ wykazał istotny wzrost zawartości chlorofilu

całkowitego. O wyraźnym wzroście zawartości chlorofilu w liściach soi, przy nieco mniejszym stężeniu IAA ($10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) donosi również Galdallaha (2000). Natomiast Skalska (1992) i Pandey i in. (2003) stosujący na lucernę BAP w różnych stężeniach, od 0,025 do 0,200%, stwierdzili istotny wzrost chlorofilu „a”, natomiast opryskując te rośliny IAA nie wykazali większego wpływu na zawartość tego barwnika.

W fazie liści trójdzielnie złożonych i w fazie kwitnienia badane odmiany soi zawierały zdecydowanie większą zawartość barwników asymilacyjnych niż w fazie rozwoju nasion. Fu i in. (2000) donoszą, iż w trakcie starzenia się roślin soi zawartość chlorofilu i karotenoidów obniża się. Stosowanie egzogennej cytokininy może zwiększyć koncentrację chlorofilu w starzejących się tkankach liści poprzez wolniejszy rozkład chlorofilu i opóźnienie procesu starzenia (Downs i in. 1997). Costa i in. (2005) w przeprowadzonych badaniach nad wpływem BAP na roślinę kapusty stwierdzają, iż powoduje to powolniejszą degradację chlorofilu całkowitego, w porównaniu z roślinami kontrolnymi. Jednocześnie autor ten określał aktywność enzymów pośredniczących w degradacji chlorofilu, takich jak chlorofilaza i dechelataza magnezowa. Okazuje się, że w roślinach opryskiwanych BAP następuje znaczny spadek aktywności tych enzymów w porównaniu do roślin kontrolnych. Potwierdzają to badania własne, gdzie okresie zawiązywania strąków wykazano zwiększoną zawartość barwników asymilacyjnych u roślin opryskiwanych BAP w porównaniu z kontrolą, średnio o około 20 %.

Rośliny strączkowe, a zwłaszcza soja charakteryzują się dużą zmiennością plonowania, zależną od warunków klimatycznych (Kołpak 1996). W badaniach własnych generalnie w pierwszym roku badań rośliny plonowały słabiej, co było spowodowane prawdopodobnie niższymi średnimi temperaturami powietrza w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego i zbyt obfitymi opadami w okresach krytycznych. Na pogorszenie produktywności soi, która jest rośliną ciepłolubną, może wpłynąć każdy czynnik środowiska występujący na poziomie stresowym (Boros 2002). Śnieg i in. (2004) donoszą, że o wielkości plonu soi decyduje głównie suma opadów w lipcu, czyli miesiącu kwitnienia i zawiązywania strąków. W przeprowadzonym doświadczeniu, w roku 2007 wystąpiły opady, ale okazały się zbyt obfite i długotrwałe, co opóźniło dojrzewanie strąków.

Zastosowanie egzogennych hormonów wzrostu może podnieść produktywność roślin, stymulując wzrost i rozwój wytworzonych owoców (Reinecke i in. 1995). W badaniach własnych egzogenne regulatory wzrostu spowodowały zwiększenie plonu soi. W jednym roku sucha masa strąków i nasion u roślin opryskanych wszystkimi regulatorami wzrostu zwiększyła się średnio o ponad 20%, natomiast w drugim roku, kwas IBA spowodował

wzrost liczby strąków na roślinie (o ok. 26%), świeżą masę strąków i nasion (średnio o 29 i 34%) oraz suchą masę nasion (średnio o 40%). Najwyższy plon uzyskano z roślin odmiany Aldana opryskiwanych IBA+BAP w roku 2007 oraz BAP w roku 2008.

Literatura potwierdza korzystny wpływ syntetycznych auksyn i cytokinin na plonowanie soi i innych roślin strączkowych. Czapla i (2003) stosując na soję dwa rodzaje syntetycznych auksyn – IBA i NAA (kwas naftylo-1-octowy) oraz ich mieszaniny (wszystkie w stężeniu 20 mg·dm⁻³), stwierdzili największą liczbę strąków na roślinie i plon nasion w warunkach stosowania IBA. Natomiast Nahar i Ikeda (2001) stosujący na rośliny soi preparat Figaron¹ w stężeniu 150 mg·dm⁻³ obserwowali wzrost liczby strąków na roślinie średnio o 23%. Z kolei Nowak i in. (1997) donoszą o istotnym wzroście masy nasion u bobiku, średnio o 10% po zastosowaniu NAA w stężeniu 20 mg·dm⁻³ i BA w stężeniu 40 mg·dm⁻³ oraz ich mieszaniny. Nie wykazał natomiast istotnych różnic w liczbie strąków na roślinie. Korzystny wpływ BAP na masę strąków i nasion potwierdza również Barclay i Mc David (1998), stosujący ten hormon na groch w stężeniu 20 mg·dm⁻³.

Inne wyniki uzyskała Skalska (1992), która wykazała istotny spadek plonu nasion lucerny po zastosowaniu benzyloadeniny (BA). Jednak autorka ta zastosowała bardzo duże stężenie tej syntetycznej cytokininy, wynoszące aż 250 mg·dm⁻³. O braku istotnych różnic w plonowaniu pszenżyta opryskanego BAP a kontrolnymi donosi Czapla (2005).

Kuang i in (1991b) sugerują, że przyczyną zarówno wzrostu liczby strąków na roślinie soi, jak i ich wielkości po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu są zmiany fizjologiczne polepszające wzrost owocowania, a także wcześniejszy wzrost unaczynienia w tkankach, co przejawia się w pogrubieniu osadki kwiatostanowej i szypułki (Peterson i in. 1990). Carlson i in. (1987), Clifford (1992) twierdzą, że poziom endogennych fitohormonów takich jak: auksyn i cytokinin w soku ksylemowym jest wysoki na początku kwitnienia, natomiast w trakcie kwitnienia często jego zawartość ulega obniżeniu, co może być powodem przedwczesnego opadania kwiatów, a następnie niższego plonu strąków (Baylis i Clifford 1991). Auksyny i cytokininy zapobiegają opadaniu kwiatów i strąków na roślinach soi (Reese i in. 1995; Nagel i in. 2001). Zwiększenie plonowania drogą opryskiwania roślin syntetyczną auksyną może zwiększyć w roślinach konkurencyjność organów generatywnych wobec organów wegetatywnych (Rylott i Smith 1990). Potwierdza to Pandey i in. (2003) stosujący IAA na rośliny bawełny, u której stwierdzono znaczny wzrost wielkości kwiatów. Także Qifu i in. (1998) sugerują, że poprzez zastosowanie cytokininy w syntetycznej formie następuje lepsze unaczynienie tkanek i lepsze oraz zwiększone przemieszczanie asymilatów z części

¹ Figaron – preparat zawierający syntetyczną auksynę -kwas etylo-5-chloro-3-indazolył.

wegetatywnych do generatywnych, przez co zwiększa się ich stężenie w naczyniach, a w konsekwencji prowadzi do lepszego wypełnienia nasion oraz wzrostu plonu (Kuang i in. 1999 a,b). Zwiększenie i stymulacja transportu asymilatów w naczyniach poprzez hormony, ma również wpływ na funkcjonowanie wiązek przewodzących i ich wytrzymałość w tkankach późniejszych strąków. Wpływa również na transport floemowy asymilatów (Segovia 1978; Resse in in. 1995). Barcley i McDavid (1997) po przeprowadzonych badaniach na grochu nikły indyjskiej z zastosowaniem BAP, stwierdzili znaczne pogrubienie strąka, czego następstwem była większa ich masa.

Wzrost natężenia procesu fotosyntezy podnosi plon nasion soi (Thommpson i in. 1995), co wykazano także w badaniach własnych. Stwierdzono, bowiem w roku 2008 dodatnią istotną korelację pomiędzy asymilacją (A) a plonem nasion soi we wszystkich wariantach doświadczenia. O dodatniej istotnej korelacji pomiędzy aktywnością fotosyntezy a plonem roślin jęczmienia po zastosowaniu IAA donoszą Ashraf i in. (2006), którzy uważają, że świadczy to o prawidłowym wykorzystaniu produktów fotosyntezy w produkcji plonu. Subrahmananyam (2002) sugeruje, iż istotna dodatnia korelacja pomiędzy asymilacją a plonem jest różna w zależności od stadium rozwojowego rośliny. Badane przez tego autora różne genotypy soi wykazały najwyższą dodatnią istotną korelację pomiędzy asymilacją a plonem w stadium wykształcania nasion, natomiast w pozostałych stadiach rozwojowych nie wykazały istotnego współdziałania. Autor ten twierdzi, iż wiedza o dodatniej zależności pomiędzy asymilacją a plonem różnych genotypów soi może być łatwym i prostym sposobem umożliwiającym selekcję tych roślin w programach hodowlanych, w celu uzyskania wyższego plonu poprzez większą efektywność fotosyntetyczną.

W badaniach własnych istotnie największą liczbą liści i powierzchnią asymilacyjną charakteryzowała się odmiana Progres, natomiast zastosowanie regulatorów wzrostu nie zmodyfikowało istotnie danych parametrów. Można to tłumaczyć ich cechą odmianową. Podobne wyniki uzyskał Nahar i Ikeda (2002), którzy stosując syntetyczną auksynę w preparacie Figaron, w stężeniu 150 mg dm^{-3} na rośliny soi, nie stwierdzili istotnych różnic w powierzchni asymilacyjnej. Jednak w fachowej literaturze można znaleźć różne opinie na temat wpływu egzogennych regulatorów wzrostu na liczbę liści i ich powierzchnię asymilacyjną w zależności od zastosowanego stężenia preparatu. Aldesuquy (2000) donosi o wzroście powierzchni asymilacyjnej liści jęczmienia po zastosowaniu roztworu IAA w stężeniu $25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Natomiast Khan i in. (2002) stosujący IAA, IBA i NAA na lilię oraz Pal i Das (1990) na kapustę, w stężeniu $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ wykazali wzrost liczby liści i ich powierzchni asymilacyjnej. Crompton (1981) sugeruje, że powstanie nowego akceptora o

dużej pojemności akumulacyjnej zmienia sposób rozmieszczenia asymilatów w roślinie, a przez to następuje zwiększenie transportu substancji pokarmowych do tego akceptora.

Brak wzrostu powierzchni asymilacyjnej odmian soi w doświadczeniu własnym mógł być spowodowany zwiększonym transportem asymilatów do rozwijających się nasion, aniżeli liści.

Regulatory wzrostu roślin mają zdolność przyciągania substancji pokarmowych oraz są czynnikami uczestniczącymi w regulacji dystrybucji i akumulacji tych substancji (Panwar i in. 1990; Nowak i in. 1991; Jankiewicz 1997; Nowak i in. 1997; Czapla i in. 2003). Ma to duże znaczenie dla wartości biologicznej plonu. W literaturze można znaleźć różne, często sprzeczne opinie na temat akumulacji pierwiastków w nasionach różnych gatunków roślin, po zastosowaniu egzogennych regulatorów wzrostu. Jak wiadomo zawartość składników mineralnych w roślinach może być modyfikowana wieloma czynnikami wewnętrznymi i zewnętrznymi (Makarska i Michalik 2003).

W doświadczeniu własnym, generalnie wykazano korzystny wpływ zastosowanych regulatorów wzrostu na ilość makroskładników odżywczych w nasionach soi, jednak ich zawartość była zróżnicowana w zależności od odmiany i zastosowanego regulatora wzrostu. W obu latach stwierdzono wpływ BAP i IBA+BAP na wzrost koncentracji potasu i magnezu, a wapnia w 2007 roku, przy czym średnia zawartość magnezu w nasionach wzrosła średnio o 5%, potasu o 10%, natomiast wapnia o 11%. Najbardziej wrażliwą z badanych odmian soi na działanie hormonów okazała się odmiana Jutro, która po zastosowaniu IBA bądź BAP zgromadziła najwięcej K, Ca i Mg w nasionach. Z pewnością było to korzystne dla poprawy wartości biologicznej plonu nasion tej odmiany.

Czapla i in. (2003) donoszą o obniżeniu zawartości potasu średnio o 9% oraz nieznacznie wapnia i magnezu w nasionach soi po opryskaniu roślin syntetycznymi auksynami tj. IBA i NAA, IBA+NAA w stężeniu $20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W dostępnej literaturze informacje na temat oddziaływania egzogennych fitohormonów na gromadzenie makropierwiastków w nasionach soi spotyka się dość rzadko, natomiast jest więcej informacji na temat gospodarki mineralnej różnych gatunków roślin, w tym także strączkowych.

Literatura donosi o bardzo rozbieżnych wynikach dotyczących zawartości makroskładników w nasionach i ziarniakach zbóż, czego przyczyną mogą być różne warunki klimatyczne oraz warunki uprawy w trakcie trwania doświadczeń (Makarska i Michałek 2003). Wierzbowska (2006) stosując regulatory wzrostu na rośliny pszenicy stwierdziła, że kinetyna i auksyna wyraźnie zwiększają koncentrację potasu w ziarnie odpowiednio o 16,73% i 10,33% oraz wapnia - średnio o 14%. Natomiast w niewielkim stopniu zwiększają zawartość

magnezu w ziarnie. Prusiński i Borowska (2002) stosując na rośliny łubinu IBA i BAP oraz IBA+BAP w różnych stężeniach 20, 40, 50 mg·dm⁻³ zaobserwowali spadek zawartości potasu w nasionach pod wpływem wszystkich ww. dawek regulatorów wzrostu. Ponadto zróżnicowane dawki regulatorów stosowane oddzielnie wpływały natomiast na większą koncentrację wapnia w nasionach, w odróżnieniu od mieszaniny IBA+BAP, która nie różnicowała istotnie jego zawartości. Z kolei mieszanina ta pod wpływem wzrastających dawek zwiększała zawartość magnezu.

W badaniach własnych zastosowane regulatory wzrostu (IBA, BAP i IBA+BAP) nie miały wpływu na zawartość sodu i fosforu w nasionach soi. Jest to potwierdzeniem badań Czapli i in. (2003), Prusińskiego i Borowskiej (2003), Nowaka i in. (1997) oraz Klasy i in. (1996), którzy nie stwierdzili zmiany koncentracji tych pierwiastków w nasionach bobiku, soi, oraz łubinu po zastosowaniu syntetycznych auksyn i cytokinin.

Nowak i Czapla (1991) sugerują, że wzrost zawartości niektórych składników mineralnych w częściach nadziemnych, po zastosowaniu syntetycznych regulatorów wzrostu, następuje poprzez silniejszy rozwój systemu korzeniowego, szczególnie wydłużenie sfery włośnikowej (Svensona 1990; Meuwly i in 1991; Ali i in. 2008). W konsekwencji prowadzi to do intensywniejszego pobierania z gleby składników pokarmowych. Kopcewicz i in. (1998) podają, iż największy wpływ odgrywają tutaj auksyny, które są sygnałami informującymi o przebiegu procesów fizjologicznych w akceptorach, i wzrastającym zapotrzebowaniu na substancje pokarmowe. Ponadto cytokininy wraz auksynami pobudzają działalność kambium i formowanie się tkanek przewodzących ułatwiających przenikanie różnego rodzaju składników pokarmowych (Jankiewicz 2007). Fitohormony mają wpływ na wzrost zawartości pierwiastków mineralnych poprzez ułatwienie przenikania jonów do korzeni oraz przyspieszają ich transport do innych organów i oddziałują bezpośrednio na przepuszczalność membran komórkowych. Syntetyczna auksyna może regulować transport jonów przez wpływ na otwieranie i zamykanie kanałów jonowych w błonach komórkowych (Blatt 1993).

Właściwe proporcje pomiędzy wapniem i magnezem są bardzo ważne dla utrzymania prawidłowego metabolizmu w organizmach konsumentów, co świadczy też o wartości biologicznej plonu. Zbyt szeroki stosunek pomiędzy jonami wapnia i magnezu (>3) świadczy o niedostatecznej podaży magnezu w pokarmie (Czapla i Nowak 1995; Wróbel i Marska 1998). Stosunek jonowy Ca:Mg w roślinach strączkowych jest bardzo zróżnicowany, w zależności od gatunku. Może on wynosić od 1,85 do 2,57 w nasionach bobu (Jadczak i in. 2006) oraz 2,2 do 4,0 w strąkach fasoli szparagowej (Wróbel i Marska 1998).

W doświadczeniu własnym stosunek Ca:Mg był węższy od podawanych i wyniósł 0,79 do 1,54 w obu latach badań. W roku 2007 wszystkie regulatory wzrostu wpłynęły na nieznaczne poszerzenie stosunku Ca:Mg w nasionach soi, jednak bez istotnych różnic w stosunku do wariantu kontrolnego. Natomiast w roku 2008 opryskiwanie roślin BAP spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku Ca:Mg w nasionach. W tym roku stosunek jonowy Ca:Mg w porównaniu z rokiem poprzednim był szerszy i wynosił 1,41-1,49.

Stosunki jonowe pomiędzy potasem a kationami dwuwartościowymi: magnezem i wapniem $K:(Ca+Mg)$ są również bardzo ważne dla utrzymania zdrowia konsumentów. Proporcje te powinny być zbliżone do 1,62 gdyż wyższe świadczą o niedoborze wapnia oraz magnezu (Czapla i Nowak 1995). Z kolei w ziarniakach pszenicy opryskiwanej auksyną i cytokininą stosunek ten był wysoki i wyniósł około 2 (Wierzbowska 2006).

W niniejszym doświadczeniu nasiona charakteryzowały się również wysokim stosunkiem $K:(Ca+Mg)$, wynoszącym od 4,07 do 4,45, we wszystkich wariantach doświadczenia. O wysokim stosunku $K:(Ca+Mg)$ wynoszącym od 6,22 do 8,63 w nasionach różnych odmian bobu donosi również Jadczyk i in. (2006).

Nadmierna akumulacja azotanowej formy azotu ($N-NO_3$), obniżającej wartość biologiczną plonu jest niekorzystna dla roślin (Van der Bonn i in. 1990). W literaturze przedmiotu badań jest niewiele informacji o zawartości tej formy azotu w nasionach roślin strączkowych opryskiwanych syntetyczną auksyną czy cytokininą. Według wielu autorów (Kasa i in. 1996; Nowak i in. 1997; Czapla i in. 2003) egzogenna auksyna powoduje często wzrost tej formy azotu w nasionach soi i bobiku. Potwierdziły to wyniki badań własnych (2007 rok), kiedy to wykazano wzrost azotu azotanowego w nasionach wszystkich odmian soi opryskanej auksyną w postaci kwasu IBA, w stosunku do roślin kontrolnych o ok. 33%. Natomiast badane odmiany soi (Aldana, Jutro i Progres) opryskiwane syntetyczną cytokininą (BAP) wykazały znaczny spadek ilości azotanów w nasionach, średnio o 28% w drugim roku badań. Wyniki takie potwierdzają celowość dalszych badań, dotyczących właściwego doboru egzogennych regulatorów wzrostu, obniżających gromadzenie nadmiernej ilości azotanów w nasionach roślin strączkowych, przy jednoczesnym wysokim poborze i akumulacji cennych żywieniowo składników mineralnych. Takie bowiem stymulatory powinny oprócz aktywowania procesów fizjologicznych i zwiększania produktywności roślin, wpływać na poprawę wartości biologicznej uzyskiwanego plonu.

Niezwykle ważnym elementem w ocenie wartości biologicznej plonu jest zawartość aminokwasów siarkowych w uzyskiwanym plonie biologicznym. W badaniach własnych zastosowana mieszanina regulatorów wzrostu (IAA+BAP) spowodowała wzrost

aminokwasów siarkowych tj, cysteiny i metioniny, największy w nasionach odmiany Aldana. Li i in. 2005 oraz Sexton i in. 1999 wyraźnie wskazują, że niska zawartość aminokwasów siarkowych, tj. cysteiny i metioniny ogranicza wartość odżywczą białka w nasionach soi. W literaturze przedmiotu jest niewiele doniesień na temat syntezy aminokwasów siarkowych w nasionach roślin strączkowych pod wpływem egzogennych regulatorów wzrostu. Najczęściej dotyczą zmian zawartości białka ogólnego w nasionach różnych roślin strączkowych, po zastosowaniu syntetycznej cytokininy. Takie badania prowadzili m.in. Prusiński i Borowska 2002, którzy stwierdzili wzrost zawartości białka pod wpływem egzogennej cytokininy. Chwil (2001) twierdzi, iż dobre zaopatrzenie w magnez organów roślinnych sprzyja wzrostowi zawartości białek. W niniejszych badaniach, w nasionach soi potraktowanej cytokinina (BAP) oraz mieszaniną auksyny i cytokininy (IBA+BAP) stwierdzono znacznie większą zawartość tego pierwiastka, co mogło również się przyczynić do wzrostu aminokwasów siarkowych, mających wpływ na syntezę wysokowartościowego białka.

5. Wnioski

1. Badane odmiany soi (Aldana, Progres, Jutro) charakteryzowały się dużą wrażliwością na zmienne warunki klimatyczne. W niesprzyjających warunkach atmosferycznych podczas wegetacji, tj. przy obfitych opadach, obniżonej temperaturze i małym usłonecznieniu, zareagowały przesunięciem terminów poszczególnych faz rozwojowych i wydłużeniem okresu wegetacji.
2. Kwas inolilo-3-masłowy (IBA) stosowany oddzielnie oraz w mieszaninie z 6-benzyloaminopuryną (BAP) powodowały przyspieszenie zawiązywania, rozwój i dojrzewanie strąków u wszystkich badanych odmian, a tym samym skrócenie okresu wegetacji w stosunku do roślin nieopryskanych regulatorami.
3. Kwas inolilo-3-masłowy (IBA), 6-benzyloaminopuryna (BAP) oraz mieszanina tych związków miały zróżnicowany wpływ na natężenie asymilacji i transpiracji oraz na przewodność szparkową i stężenie CO₂ w przestworach międzykomórkowych trzech odmian soi, zależnie od roku badań i fazy rozwojowej.
4. Najwyższą intensywnością procesów asymilacji i transpiracji wykazały się badane odmiany w okresie kwitnienia, zaś najniższą w okresie rozwoju nasion. Na ogół najintensywniej asymilowały i transpirowały odmiany Jutro i Aldana, zwłaszcza po zastosowaniu mieszaniny regulatorów IBA+BAP. Zdecydowanie najslabiej asymilowała odmiana Progres, na podobnym poziomie niezależnie od kombinacji doświadczalnej.
5. Odmiana Progres, na zastosowane regulatory wzrostu (IBA, BAP i IBA+BAP), zareagowała znacznym spadkiem, zarówno intensywności transpiracji, jak i przewodności szparkowej w tych samych fazach rozwojowych, tj. kwitnienia w sezonie 2007 i liści trójdzielnie złożonych w sezonie 2008. W przypadku pozostałych odmian nie można jednoznacznie określić wpływu ww. związków na parametry wymiany gazowej.
6. Rośliny wszystkich badanych odmian opryskiwane IBA i BAP miały przeważnie większą zawartość barwników asymilacyjnych w liściach w fazie zawiązywania strąków, co spowodowało opóźnienie procesu starzenia roślin.
7. Egzogenne regulatory wzrostu miały istotny wpływ na kształtowanie się indeksu szparkowego na górnej i dolnej epidermie blaszki liściowej odmian soi. Na ogół obserwowano wzrost liczby aparatów na jednostce powierzchni epidermy, długości i szerokości aparatów szparkowych oraz długości ich szczelin szparkowych. Największą liczbą aparatów szparkowych o najdłuższych szczelinach charakteryzowała się odmiana Jutro, zaś najmniejszą liczbą odm. Progres. Intensywność asymilacji (A), transpiracji (E) i przewodności szparkowej (g_s) była dodatnio istotnie skorelowana z liczbą aparatów

szparkowych oraz długością ich szczelin szparkowych, w warunkach stosowania IBA, BAP oraz IBA+BAP.

8. Asymilacja (A) i transpiracja (E) były dodatnio i istotnie skorelowane z przewodnością szparkową (g_s) we wszystkich wariantach doświadczenia, co świadczyło o sprawnej wymianie gazowej między liściem a otoczeniem zewnętrznym.
9. Większe plony strąków i nasion badane odmiany uzyskały w drugim roku badań, kiedy panowały korzystniejsze warunki termiczne i usłonecznienie. W takich warunkach, spośród badanych odmian soi, najlepiej plonowała Aldana, po zastosowaniu kwasu IBA. Z kolei w niekorzystnych warunkach klimatycznych, i to niezależnie od kombinacji doświadczenia, najbardziej plenną była odmiana Progres.
9. Wzrost plonu strąków i nasion u odmian soi istotnie zależał od wzrostu intensywności asymilacji (A), transpiracji (E) i przewodności szparkowej (g_s), niezależnie od kombinacji doświadczenia.
10. Zastosowane regulatory wzrostu nie determinowały istotnie liczby liści i powierzchni asymilacyjnej u odmian soi. Zdecydowanie największą liczbą i powierzchnią asymilacyjną liści charakteryzowała się odmiana Progres, co prawdopodobnie jest jej cechą odmianową.
11. Kwas indolilo-3-masłowy (IBA) i 6-benzyloaminopuryna (BAP) stosowane oddzielnie oraz ich mieszanina zwiększyły znacząco wartość biologiczną plonu nasion wszystkich badanych odmian soi.

Poprawę wartości biologicznej osiągnięto poprzez:

- zwiększenie koncentracji makroelementów w nasionach, takich jak K, Mg i Ca,
- zmniejszenie zawartości azotanów ($N-NO_3$) w nasionach soi, zwłaszcza po zastosowaniu 6- benzyloaminopuryny (BAP),
- wzrost zawartości aminokwasów siarkowych: cystyny i metioniny w nasionach trzech odmian soi opryskanych mieszaniną kwasu indolilo-3-masłowego i 6-benzyloaminopuryny, podnosząc tym samym wartość biologiczną białka sojowego, najwyraźniej u odmiany Progres.

Literatura

1. **Ahmad A., Hayat S., Fariduddin Q., Ahamad I.** (2001): Photosynthetic efficiency of plants *Brassica juncea*, treated with chlorosubstituted auxins. *Photosynt.* 29 (4), 565-568,
2. **Aldesuquy H. S.** (2000): Effect of indol-3-yl acetic acid on photosynthetic characteristics of wheat flag leaf during grain filling. *Photosynt.* 38 (1), 135-141,
3. **Ali B., Hayat S., Hasan S., Ahmad A.** (2008): A comparative effect of IAA and 4-Cl-IAA on growth, nondulation and nitrogen fixation in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Acta Physiol. Plant.* 30, 35-41,
4. **Arnold V., Fletcher R. A.** (1986): Stimulation of chlorophyll synthesis by benzyladenine and potassium in excised and intact cucumber cotyledons. *Physiol. Plant.* 68, 169-174,
5. Arnon D.J., Allen M. B. Whatley F. (1956): **Photosynthesis by isolated chloroplast. IV General koncept and comparison of three photochemical reactions. Biochim. Biophys. Acta 20, 449-461,**
6. Ashraf M. Y., Azhar N., Hussain M. (2006): **Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under water stress canditions. Pl. Growth. Regul. 50, 85-90,**
7. **Baluška F., Šamaj J., Menzel D.** (2003): Polar transport of auxin: carrier – mediated flux across the plasma membrane or neurotransmitter – like secretion?. *Trends Cell Biol.*, 13(6), 282-285,
8. **Bangerth F.** (1989): Dominance among fruits/sinks and the search for correlative signal. *Physiol. Plant.* 76, 608-614,
9. **Barclay G.F., McDavid C.R.** (1998): Effect of benzyloaminopuryne on fruit set and seed development in pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Scientia Hort.* 72, 81-86,
10. **Basak A** (1998): Bioregulatory – stan aktualny i perspektywy. XXXVII Ogóln. Nauk. Konf. Sadownicza Skierniewice, 247-251,
11. **Basak A.** (2002): O bioregulatorach na sympozjum w Brnie. *Sad Nowoczesny* 1, 18-19,
12. **Baylis A. D., Clifford P. E.** (1991): Control of reproductive abscission in grain legumes. *Ann. Bull. Br. Soc. Pl. Growth. Regul.* 1, 1-12,

13. **Benkova E., Michniewicz M., Sauer M., Teichmann T., Seifertova D., Jurgens G., Frimi J.** (2003): Local, efflux-dependent auxin gradients as a com module for plant organ formation. *Cell* 115, 591-602,
14. **Bertell G., Eliasson L.** (1992): Cytokinin effect on root growth and possible interactions with etylene and indole-3-acetic acid. *Physiol. Plant.* 84, 255-261,
15. **Blatt M. R.** (1993): Hormonal control of ion channel gating. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 44, 543-567,
16. **Borecka-Jamro D., Pizło H.** (1996): Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie soi w warunkach Polski południowo-wschodniej. *Biul. IHAR* 198, 31-44,
17. **Boros L., Szymer J., Sawicki J.** (1996): Wartość odżywcza odmian soi wychodowanych w IHAR. *Biul. IHAR* 198, 97-102,
18. **Boros L.** (2002): Soja – charakterystyka odmian i technologia uprawy. IHAR, Radzików, 18,
19. **Brar Z. S., Singh M.** (1985): Effect of plant growth regulators on cotton quality characters. *Indian J. Ecol.* 12, 85-90,
20. **Braune W., Leman A., Taubert H.** (1975): *Metody* [w: *Praktikum z anatomi roślin*], PWN Warszawa, 298-317,
21. **Bröttger M., Engvild K. C., Soll H.** (1978): Growth of *Avena* coleoptiles and pH drop of protoplast suspensions induced by chlorinated indoleacetic acid. *Planta* 140, 89-92,
22. **Burton J. W.** (1997): Soyabean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Field Crop Res.* 53, 171-186,
23. **Carlson D. R., Dyer D. J., Cotterman C. D., Durley R. C.** (1987): The physiological basis ofr cytokinin induced increases on pod set ir. IX93-100 soybeans. *Pl. Physiol.* 84, 233-239,
24. **Chaplot P. C. Bhatnagar G. S., Porwal M. K.** (1992): Effect of plant growth regulators on black garm, green gram and soybean., *Ind. J. Of Tropical Agric.* 10 (1), 72-74,
25. **Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigeus M.I., Ricardo C. P. P., Osio M. L., Carvalho I., Faria T., PinheiroC.** (2002): How plant cope with water stress in the field. *Photosynthesis and growth. Ann. Bot.* 89, 907-916,
26. **Cho T., Suh K. S., Park H. K., Wodd A.** (2002): Impact of 2,4-DP and BAP upon pod set and seed yield in soybean treated at reproductive stages. *Pl. Growth Regular.* 36, 215-221,

27. **Chronis D., Krishnan H. B.** (2004): Sulfur assimilation in soybean (*Glycine max* [L.] Merr): molecular cloning and characterization of cytosolic isoform of serine acetyltransferase. *Planta* 218, 417-426,
28. **Chwill S.** (2001): Wpływ dolistnego i doglebowego stosowania magnezu na wielkość i strukturę plonu pszenicy ozimej. *Biul Magnezol.* 6(2), 118-124,
29. **Clarke S. F., Jameson P. E., Down C. G.** (1994): The influence of 6-benzylaminopurine on post-harvest senescence of floral tissues of braccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Pl. Growth Regul.* 14, 21-27,
30. **Clifford P. E., Pentland B. S., Baylis A. D.** (1992): Effect of growth regulators on reproductive abscission in faba bean (*Vicia faba* cv. Troy). *J. Agric. Sci.* 119, 71-78,
31. **Copes D. L., Mandel N. L.** (2000): Effects of IBA and NAA treatments on rooting Douglas-fir stem cuttings. *New Forest* 20, 249-257,
32. **Costa M. L., Civello P. M., Chaves A. R., Martinez G. A.** (2005): Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of braccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. *Postharv. Biol. Tech.*, 35, 191-199,
33. **Crompton H. J., Loyd-Jones C P., Hill-Cottingham D.G.** (1981): Translocation of labelled assimilates following photosynthesis of CO₂ by the field, *Vicia faba*. *Physiol. Plant.* 51: 189-194,
34. **Crosby K. E., Aung L. H., Buss G. R.** (1981): Influence of 6-benzylaminopurine on fruit-set and seed development in two soybean, *Glycine max* (L.) Merr. Genotypes. *Pl. Physiol.* 68, 985-988,
35. **Cutting J. G. M., Wolsenholm B. N.** (1993): Plant growth regulator use in horticulture in the future. *Acta Hort.* 329, 303-308,
36. **Czapla J., Nowak A. G.** (1995): Plonowanie i jakość roślin w warunkach zróżnicowanego żywienia potasem, sodem, wapniem i magnezem. *Acta. Acad. Tech. Olst. Agric.* 61, 101-107,
37. **Czapla J., Nogalska A., Stasiulewicz L.** (2003): Działanie syntetycznych auksyn na plonowanie i gospodarkę mineralną soi. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 2(1), 123-131,
38. **Czapla J., Stasiulewicz L., Nogalska A.** (2005): Plonowanie pszenżyta jarego w zależności od stosowania regulatorów wzrostu i ich mieszanek z siarczanem magnezu., *Acta. Sci. Pol., Agricultura*, 2005, 4(2), 29-36;

- 39. Czarnecka M.** (1996): Współczesny stan klimatu Szczecina [w: Współczesne zmiany klimatu. Klimat Szczecina i współczesne zmiany w rejonie Morza Bałtyckiego]. AR, Szczecin, 16-32;
- 40. Czerpak R., Piotrowska A.** (2003): Cytokiny, ich struktura, metabolizm i aktywność biologiczna. Kosmos – Prob. nauk przyr. 2-3, 203-215,
- 41. Delbarre A.** (1996): Comparison of mechanism controlling uptake and accumulation of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid, naphthalene-1-acetic acid, and indole-3-acetic acid in suspension-cultured tobacco cells. *Planta* 198, 532-541,
- 42. Diettrich B., Mertinat H., Luckner M.** (1992): Reduction of water loss during ex vivo acclimatization of micropropagated *Digitalis lanata* clone plants. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 188, 23-31,
- 43. Dinkins R., Reddy M. S. S., Meurer C. A., Yan B., Trick H., Thinaud-Nissen F., Finer J. J., Parrott W., Collins G. B.** (2001): Increased sulfur amino acid in soybean plants overexpressing the maize 15 kDa zein protein. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 37, 742-747,
- 44. Diuranti M., Gius C.** (1997): Legume seeds protein content and nutritional value. *Field Crop Research.* 53, 31-45,
- 45. Dodd C.** (2003): Hormonal Interactions and Stomatal Responses. *J Plant Growth Regul.*, 22, 32-46,
- 46. Downs C. G., Somerfield S. D., Davey M. C.** (1997): Cytokinin treatment senescence but not sucrose loss in harvested braccoli. *Post. Biol. Technol.* 11, 93-100,
- 47. Droux M.** (2004): Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism. A Survey. *Photosyn Res* 79, 331-348,
- 48. Friedman M., Brandon D. L.** (2001): Nutritional and health benefits of soy proteins. *J. Agric. Food Chem.* 49, 1069-1086,
- 49. Friedman H., Spiegelstein H., Goldschmidt E.E., Halevy A.H.** (1990): Flowering response of *Pharbitis nil* to agents affecting cytoplasmic pH., *Plant Physiology.* 94, 114-119,
- 50. Frosard E., Bucher M., Mächler F., Mozafar A., Hurrell R.** (2000): Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. *J Sci Food Agr* 80, 861-879,
- 51. Fu J., Huang B., Zhang G.** (2000): Physiological and biochemical changes during seed filling in relation to leaf senescence in soybean. *Biol. Plantarum* 43(4), 545-548,

- 52. Gadallah M. A. A.** (2000): Effect of indole-3-acetic acid and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. *J. of Arid Environments* 44, 451-467,
- 53. Galoch E., Burkacka-Łakajtus E., Kopcewicz J.** (1996): Effect of cytokinins on flower differentiation in cultured plants of *Pharbitis nil* Chois. *Acta Physiologiae Plantarum*, Vol. 18. No. 3, 223-227,
- 54. Gayler K. R., Sykes G. E.** (1985): Effect of nutritional stress on the storage proteins of soybean. *Plant Physiol.* 78, 582-585,
- 55. Gej B., Balcerzak K., Węgrzynowska A.** (1994): Physiological response of Fidel ben to the water deficit in soil. *Ann. Warsa. Agricult. Univ.* 27, 21-35,
- 56. Gen S., Amasino R. M.** (1995): Inhibition of leaf senescence by autoregulated production of cytokinin. *Science* 270, 1986-1988,
- 57. Gregorczyk A., Wróbel J., Mikiciuk M.** (2005): O modyfikacji klimatogramów Waltera i Lietha. *Zesz. Nauk. AR Szczec.*, 1, 33-40,
- 58. Grzesiak S., Filek W., Skrudlik G., Pieńkowski S.** (1996): Międzyodmianowe różnicowanie reakcji na działanie suszy kilku gatunków roślin strączkowych. *Mat. Ogólnopol. Konfer. "Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych"*, Kraków 23-25 listopada, 275-277,
- 59. Grzyś E., Demczuk A., Sacala E.** (2008): Wpływ Asahi SL na aktywność reduktazy azotanowej, zawartość chlorofilu w liściach i plon kukurydzy w warunkach niedoboru azotu w glebie. *Konferencja: Biostymulatory w nowoczesnej uprawie roślin*, Warszawa, 7-8 luty 2008, materiały konferencyjne – abstrakty, 54,
- 60. Grzywińska-Rapca M.** (1995): Regulatory wzrostu w uprawie roślin. *Nowości Rolnicze* 9, 14-15,
- 61. Gupta S., Gupta N. K., Kumar A.** (1999): Effect of abscisic acid (ABA) and kinetin (Kn) on water loss from cowpea (*Vigna unguiculata* L.) seedlings. *Ann.Biol.* 15, 77-79,
- 62. Górecki R., Jankiewicz L., S., Wysocka-Owczarek M.** (1997): Regulatory roślinne w warzywnictwie [w: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin – zastosowanie w ogrodnictwie, rolnictwie, leśnictwie i w kulturach tkanek*, pod red. Jankiewicz L., S.] PWN Warszawa, 73-109,
- 63. Haber T** (1996): Wykorzystanie białkowych preparatów i koncentratów sojowych jako dodatek do pieczywa i makaronu”, *BIHiAR* 198, 187 – 193,

- 64. Haiser M. G., Jönsson H.** (2006): Modeling Auxin Transport and Plant Development. *J Plant Growth Regul.*, 25, 302-312,
- 65. Harms H., Nowak G.** (1990): Efecy of foliar applied nitrogen and kinetin on nitrogen redistribution during growth in wheat. I. Grain growth, accumulation and redistribytion of notrogen. *Angew. Bot.* 64, 253-260,
- 66. Harsharn S., Gill H. S.** (1985): Effect of foliar spray of NAA on the growth and yield of late sown wheat and berley. *Indian J. Ecol.* 20, 15-21,
- 67. Haynes R. J., Goh K. M.** (1978): Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biol.Rev.* 53, 465-510,
- 68. Hoobs S. L. A., Mahon J. D.** (1982): Variaton , heritability and relationship to yield of physiological characters in pea. *Crop Sci.* 22, 773-779,
- 69. Huang R., F., Wang X., C.** (2000): Cytoskeletal inhibitors suppress the stomatal opening of *Vicia faba* L. induced by fusicoccin and IAA. *Plant Sci.* 156, 65-71,
- 70. Hymowitz T. R., Singh R. J., Kollipara K. P.** (1998): The genomes of the *Glycine*. *Plant Breeding Reviews* 16, 289-317,
- 71. IUNG Puławy** (1990): Zalecenia nawozowe. Cz. I: Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Seria P(44). Puławy, wydanie II, 26,
- 72. Jadczyk D., Grzeszczuk M., Rekowska E.** (2006): Content of macroelements in fresh seeds of faba bean. *J. Elementol.* 11(2), 143-149,
- 73. Jakubowska A., Zielińska E., Kowalczyk S.** (2001): Metabolizm i transport auksyn w roślinach. *Post. biochemii* 47 (2), 169-181,
- 74. Jakubowska A.** (2003): Synteza i hydroliza koniugatów hormonów roślinnych w regulacji poziomu aktywnych hormonów. *Post. biochemii.* 3, 563-585,
- 75. Jankiewicz L., S.** (1997): Nomenklatura i przegląd ważniejszych regulatorów roślinnych [w: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin – zastosowanie w ogrodnictwie, rolnictwie, leśnictwie i w kulturach tkankowych*, pod red. Jankiewicza L. S.] PWN Warszawa, 11-15,
- 76. Jasińska Z., Kotecki A.** (1993): Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego i manganem na rozwój i plonowanie bobiku. *Rocz. Nauk Rol.* 108(2), 125-135,
- 77. Jiang H., Xu D.** (2001): The cause of the difference in leaf net photosynthesis rate between two soybean cultivars. *Photosynt.* 39(3), 453-459,
- 78. Jones A. M.** (1998): Auxin transport: down and out and up again. *Science* 282, 2201-2202,

- 79. Jones H. G.** (1998): Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *J. Exp. Bot.* 49, 387-398,
- 80. Joyce S. S., Thomas R. S.** (1980): Leaf senescence and abscisic acid in leaves of field-grown soybean. *Plant Physiol.* 66, 1164-1168,
- 81. Johnstone M. M. G., Reinecke D. M., Ozga J. A.** (2005): The Auxins IAA and 4-Cl-IAA Differentially Modify Gibberellin Action via Ethylene Response in Developing Pea Fruit. *J. of Pl. Growth Regul.* 24, 214-225,
- 82. Jurekova Z., Mlady M.** (1995): regulation of physiological activity of winter wheat treated by chemical substances. *Acta Fytotechnia* 50, 101-104,
- 83. Kaczmarszk S., Koszański Z., Podsiadło C.** (1993): Przebieg niektórych procesów fizjologicznych oraz plonowanie pszenicy ozimej i pszenżyta pod wpływem deszczowania i nawożenia azotem. Cz.I. Zawartość chlorofilu i karotenodów w niektórych organach pszenicy ozimej i pszenżyta, *Acta Agrob.*, 46, 15-30,
- 84. Karcz A., Nowak G., Wierzbowska., Gotkiewicz M.** (1996): Effect of IAA and 4-CL-IAA on growth rate in maize coleoptole segments. *Acta Physiol. Plant.* 21(2), 133-139,
- 85. Kasperska A.** (1995): Udział hormonów roślinnych w odpowiedzi na stresowe czynniki środowiska. *Kosmos* 44 (3-4), 623-637,
- 86. Katekar G. F., Geissler A. E.** (1982): Auxins II: The effect of chlorinated indolylacetic acid on pea stems. *Phytochem.* 21, 257-260,
- 87. Khan N. A., Khan M., Ansari H. R.** (2002): Auxin and defoliation effects on photosynthesis and ethylene evolution in mustard. *Sci Hort* 96, 43-51,
- 88. Klamkowski K., Treder W., Marasek A., Borkowska B.** (2008): Charakterystyka aparatów szparkowych i wymian gazowa roślin truskawki w zależności od warunków wzrostu. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 524, 499-509,
- 89. Klasa A., Nowak G., Wierzbowska J., Gotkiewicz M.** (1996): Wpływ niektórych regulatorów wzrostu na plonowanie i skład chemiczny bobiku (*Vicia fabia* var. minor Harz). Cz. I. Wpływ inhibitora transportu auksyny (TIBA) i syntetycznych auksyn (IBA i NAA) na plonowanie oraz gospodarkę azotową i fosforanową., *Biul. IHAR* 197, 235-245,
- 90. Klasa A., Nowak G., Wierzbowska J., Gotkiewicz M.** (1996): Wpływ niektórych regulatorów wzrostu na plonowanie i skład chemiczny bobiku (*Vicia fabia* var. minor Harz). Cz. II. Wpływ paklobutrazolu i kwasu giberelinowego (samodzielnie i w

- mieszkankach) na wzrost, plonowanie i gospodarkę azotem i fosforem., Biul. IHAR. 197, 247-259,
- 91. Kalaji H., Skórska E.** (2007): Instrukcja obsługi gazoanalyzera TPS-2 (prod. PP System, USA). Warszawa-Szczecin, 20-25 marca,
 - 92. Kocoń A.** (1999): Wpływ żywienia azotem na niektóre parametry fizjologiczne w roślinach bobiku. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 469, 231-237,
 - 93. Kocoń A.** (2003): Dokarmianie roślin bobiku azotem mineralnym i jego wpływ na plon nasion i symbiotyczne wiązanie N₂. *Fragm. Agron* 4, 169-170,
 - 94. Kolchevskii K. G., Kocharyan N. I., Koroleva O. Y.** (1995): Effect of salinity on photosynthetic characteristics and ion accumulation in C3 and C4 plants of aparat plant. *Photosnt.* 31, 277-282,
 - 95. Kołpak R.** (1996): Plonowanie soi oraz kształtowanie się cech morfologicznych na tle obsady i nawożenia roślin. *Biul. Inst. Hod. i Aklim. Roś.* 198, 53-55,
 - 96. Kotecki A.** (1990); Wpływ temperatury i opadów na rozwój i plonowanie łubinu żółtego odmiany Topaz. *Zesz. Nauk. AR Wroc. , Ser. Rol.* 52, 95-106,
 - 97. Kozłowska M** (2007): **Transport i dystrybucja substancji pokarmowych [w: Fizjologia roślin – od teorii do nauk stosowanych pod red. Kozłowskiej M.], PWRiL, Poznań, 313-314,**
 - 98. Koźmiński Cz.** (1993): Klimat miasta Szczecina i okolic. *Szczecińskie Towarzystwo Naukowe.* 49-50,
 - 99. Koźmiński Cz., Czarnecka M.** (1993): Klimat miasta Szczecina i okolicy [w: Stan środowiska miasta Szczecina: zagrożenia i ochrona.] *Pr. zbior. pod red. J. Jasnowskiej.* Szczec. Tow. Nauk., Szczecin, 49-66,
 - 100. Kramer M. E., Bennett J.** (2006): Auxin transport: a field in flux. *Trends Plant Sci.* 11(8), 383-386,
 - 101. Kuang A., Peterson C. M., Dute R. R.** (1991a): Changes in soybean raceme and petiole anatomy induced by 6-benzylaminopurine. *Ann. Bot.* 67, 23-27,
 - 102. Kuang A., Peterson C. M., Dute R. R.** (1991b): Pedicel abscission and rachis morphology of soybean as influenced by benzylaminopurine and the presence of pods *J. Plant Growth Regul.* 10, 291-303,
 - 103. Kumar B., Pandey D. M., Goswami C.L., Jain S.** (2001): Effect of growth regulators on photosynthesis, transpiration and related parameters in water stressed cotton. *Biol. Plant.* 44(3), 475-478,

- 104.Kumdu S. K., Tigerstedt P. M. A.** (1998): Variation in net photosynthesis, stomatal characteristics, leaf area and whole-plant phytomass production among ten provenances of neem (*Azadirachta indica*). *Tree Physiol.* 19, 47-52,
- 105.Qifu M., Longnecker N., Atkins C.** (1998): Exogenous Cytokinin and Nitrogen Do Not Increase Grain Yield in Narrow-Leafed Lupins. *Crop Sci* 38, 717-721,
- 106.Quintana J., Harrison H. C., Nienhuis J., Palta J P., Kmiecik K.** (1999): Comparison of pod calcium concentration between two snap bean populations. *Journal of ASHS*,124, 273-276,
- 107.Lampart-Szczapa E.** (1997): Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. *Zesz. Prob. Postępu nauk Rol* 446, 61-81,
- 108.Lechowski Z.** (1997): Stomatal response to exogenous cytokinin treatment of the hemiparasite *Melampyrum arvense* L. and after attachment to the host. *Biol. Plant* 39(1), 13-21,
- 109.Legocka J.** (1997): Sposób działania ważniejszych regulatorów wzrostu [w: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin – właściwości i działanie*, pod red. Jankiewicz L.S] PWN Warszawa, 199-225;
- 110.Leyser O.** (2001): Auxin signalling: the beginning, the middle and the end., *Curr. Opin. Biol.*, 4, 382-386,
- 111.Leutek T., Martin M. N., Bick J. A., Danies J. P.** (2000): Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 51, 141-165,
- 112.Lewak S.** (1995): Hormony roślinne – kierunki badań ostatniego dziesięciolecia. *Kosmos* 44 (3-4), 601-622,
- 113.Li Z., Meyer S., Essig J. S., Liu Y., Schapaugh M. A., Muthukrishnan S., Hainline B. E., Trick H. N.** (2005): High-level expression of maize γ -zein protein in transgenic soybean (*Glycine max*). *Molecular Breeding* 16, 11-20,
- 114.Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R.** (1983): Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11, 591-592.

- 115. Lichtenstein A. H. (1998):** Soy protein, isoflavones and cardiovascular disease risk. *J. Natur.* 128, 1589-1592,
- 116. Luquez V. M., Giuamet J.J., Montaldi E.R. (1997):** Net photosynthetic and transpiration rates in chlorophyll-deficient isolate of soybean under well-watered and drought conditions., *Photosynt.* 34 (1), 125-131,
- 117. Lorteau M. A., Ferguson B. J., Guinel F. C. (2001):** Effect of cytokinin on ethylene production and nodulation in pea (*Pisum sativum*) cv. Sparkle. *Physiol. Plant.* 112, 421-428,
- 118. Magnust V., Ozga J. A., Reinecke D., Pierson G. L., Larue T. A., Cohen Jerry D., Brenner M. (1997):** 4-chloroindole-3-acetic and indole-3-acetic acid in *Pisum sativum*. *Phytochem.* 46(4), 675-681,
- 119. Makarska E., Michalik M. (2003):** Wpływ systemu uprawy na zawartość i proporcje składników pokarmowych w ziarnie jęczmienia jarego. *J. Elementol.* 892, 65-74,
- 120. Maleszewski S., Kozłowska-Szerenos B. (1998):** Aktualne problemy badań nad aparatami szparkowymi. *Wiad. Bot.* 42 3/4, 21-31,
- 121. Malinowska E., Gramowska A., Szefer P. (2007):** Zawartość azotanów (V) i azotanów (III) w roślinach strączkowych. *Bromat. Chem. Toksykol.*- XL. 3, 287-291,
- 122. Masny A., Basak A., Żurawicz E. (1999):** Wpływ Betoksonu Super na wielkość i plonowanie trzech odmian truskawki. *Mat. VIII Ogól. Zjaz. Nauk. „Hodowla roślin ozdobnych u progu XXI w. AR Lublin,* 291-294,
- 123. Matile P., Hörtensteiner S., Thomas P., Kräutler B. (1996):** Chlorophyll breakdown in senescent leaves. *Plant Physiol.* 112, 1403-1409,
- 124. McDonald H. (1997):** Auxin perception and signal transduction. *Physiol. Plant.* 100, 423-430,
- 125. McVey M. J., Pautsch G. R., Baumel C. P. (1995):** Estimated domestic producer and end user benefits from genetically modifying U.S. soybean. *J. Prod. Agric.* 8, 209-214,
- 126. Metwally A., Tsonev T., Zeinalov Y. (1997):** Effect of cytokinins on the photosynthetic apparatus in water-stressed and rehydrated bean plants. *Photosnt.* 34, 563-567,
- 127. Meuwly P., Pilet P. (1991):** local treatment with indole-3-acetic acid induces differential growth responses in *Zea mays* L. root. *Planta* 185, 58-64,

- 128. Michalek S., Borowski E.** (1998): Reakcja wybranych odmian soi (*Glycine max* L.) na suszę. Zesz. Nauk. AR Kraków 333, 905-907,
- 129. Michalek S.** (1999): Wzrost, wymiana gazowa i plonowanie kilku polskich odmian soi w warunkach suszy. Zesz. Problem. Post. Nauk Rol. 469, 217-223,
- 130. Michalek S., Borowski E.** (2006): Plonowanie oraz zawartość tłuszczu, kwasów tłuszczowych i białka w nasionach krajowych odmian soi w warunkach suszy. Acta Agroph. 8(2), 459-471,
- 131. Mikos-Bielak M.** (2005): Egzogenne regulatory wzrostu w uprawie ziemniaka. Annales UMCS, Sec. 60, 281-292,
- 132. Moragham J. T., Etchevers J. D., Padilla J.** (2006): Contrasting accumulations of calcium and magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean. Food Chem, 95, 554-561,
- 133. Morison J. I. L.** (1998): Stomatal response to increased CO₂ concentration. J. Exp. Bot. 49, 443-452,
- 134. Mosjidis CO'H., Peterson C. M., Truelove B., Dute R. R. (1993): Stimulation of pod and ovule growth of soybean, *Glycine max* (L.) Merr, by 6-benzyloanimopurine. Ann Bot 71, 193-199,**
- 135. Muller J.E., Bergman H.** (1996): Plant cellular response to water deficit. Pl Growth Regual. 2, 41-46,
- 136. Muthuchelian K., Murugan C., Harigovindan R., Nedunchezian N., Kulandaivelu G.** (1994): Effect of triacntanol in flooded *Erythrina variegata* seedlings. Changes in CO₂ fixation, and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase, photosystem and nitrate reductase activities. Photosynt. 30, 407-413,
- 137. Nagel L., Brewster R., Riedell W. E., Reese R. N.** (2001): Cytokinin Regulation of Flower and Pod Set Soybeans (*Glycine max* L. Merr.). Ann Bot 88, 27-31,
- 138. Nalborczyk E.** (1993): Biologiczne uwarunkowania produktywności roślin strączkowych. Fragm. Agron. 4, 147-148,
- 139. Nahar B. S., Ikeda T.** (2002): Effect of different concentrations of Figaron on production and abscission of reproductive organs, growth, and yield in soybean (*Glycine max* L.). Field Crop Res. 78, 41-50,
- 140. Naamni F., Rabinowitch H. D., Kedar N.** (1980): The effect of GA₃ Application on flowering and seed production in onion., J. Amer. Soc. Hort. Sci., 105, 164-167,

- 141. Neuman D. S., Rood S. B., Smit B. A.** (1990): Does cytokinin transport from root-to-shoot in the xylem sap regulate leaf response to root hypoxia? *J. Exp. Bot.* 41, 1325-1333,
- 142. Noden L. D., Santokh S., Letham D. S.** (1990): Correlation of xylem sap cytokinin levels with monocarpic senescence in soybean. *Pl Physiol*, 93, 33-39,
- 143. Nogalska A., Czapla J.** (2002): Plonowanie jęczmienia jarego w zależności od stosowania regulatorów wzrostu i ich mieszanek z siarczanem magnezu., *Pol. J. Natur. Sci.* 12 (3), 37-51.
- 144. Nogalska A., Czapla J.** (2005): Wpływ regulatorów wzrostu i ich mieszanek z siarczanem magnezu na plonowanie pszenżyta jarego., 2005, *J. Elementol.* 10 (1), 73-83,
- 145. Nowak G., Cieccko Z.** (1991): Wpływ GA₃ na plonowanie i wartość pastewną brukwi. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 262, 325-331,
- 146. Nowak G., Wierzbowska J.** (1991): Oddziaływanie regulatorów wzrostu i nawożenia mineralnego na plonowanie oraz skład chemiczny pszenicy jarej. *Roczn. Glebozn.* 42, 145-154,
- 147. Nowak G., Czapla J.** (1991): Wpływ gibereliny (GA₃) i nawożenia magnezem na cechy biometryczne oraz zawartość makroskładników w organach soi. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst. Agricultura* 53, 171-180,
- 148. Nowak G. A., Klasa A., Wierzbowska J., Gotkiewicz M.** (1997a): Plonowanie oraz zawartość makroskładników w roślinach bobiku w warunkach stosowania retardantów i fitohormonów . Cz. I. Plonowanie roślin. *Biul. IHAR* 201, 289-294,
- 149. Nowak G., Wierzbowska J., Gotkiewicz M.** (1997b): Plonowanie oraz zawartość makroelementów w roślinach bobiku w warunkach stosowania retardantów wzrostu i fitohormonów. Cz. 2 Zawartość makropierwiastków., *Biul. IHAR* 201, 297-303,
- 150. Obojski J., Stręczyński S.** (1995): Odczyn i zasobność gleb Polski w makro i mikroelementy, *IUNG Puławy* 40,
- 151. Orlikowska T.** (1997): Regulatory roślinne w kulturach *in vitro* [w: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin – zastosowanie w ogrodnictwie, rolnictwie, leśnictwie i w kulturach tkanek*, pod red. Jankiewicza L., S.] PWN Warszawa, 219-248,
- 152. Osman M. A.** (2004): Chemical and nutrient analysis of baobab (*Adansonia digitata*) fruit and seed protein solubility. *Plant Foods Hum Nutr*, 59, 29-33,
- 153. Ostrowska D., Kucińska K.** (1996): Projekt klucza do oznaczania stadiów rozwojowych soi (*Glycine max. L.*), *Biul. IHAR* 198, 13-19,

- 154.Ozga J. A., Reinecke D. M.** (1999): Interaction of 4-chloroindole-3-acetic acid and gibberellins in early pea fruit development., *Pl. Growth Regul.* 27, 33-38,
- 155.Pal A. K., Das S. N.** (1990): Effect of IAA on growth and flowering of *Lilium longiflorum*. *Orissa J. Horticult.* 18, 18021,
- 156.Pandey D. M., Goswami C. L., Kumar B., Jain S.** (2000): Hormonal regulation of photosynthetic enzymes in cotton under water stress. *Photosynth.* 38, 403-407,
- 157.Pandey D. M., Goswami C.L., Kumar B.** (2003/4): Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. *Biol. Plant.* 47(4), 535-540,
- 158.Panthee D. R., Pantalone V. R., Saxton A. M., West D. R., Sams C. E.** (2006): Genomic regions associated with amino acid composition in soybean. *Molecular Breeding* 17, 79-89,
- 159.Panwar J. D. S., Abbas S., Raum S.** (1990): Effects of benzol-amino purine and girdling site on photosynthesis translocation and nitrogen fixation in Y-shaped mungbean.
- 160.Patel J. K.** (1992): Effect of triacontanol and naphthalene acetic acid on lint yield, fibre quality, and nitrogen, phosphorus and potash uptake in cotton (*Gossypium species*) *Ind. J. Agron.* 37, 332-337,
- 161.Pawłowski F., Jedruszczak H., Bojarczyk M.** (1990): Plonowanie soi odmiany Polan na glebie lessowej w zależności od rozstawy rzędów i ilości wysiewu. *Biul. IHAR*, 175, 63-70,
- 162.Peterson C. M., Williams J. C., Kuang A.** (1990): Increased podset of determinae cultivars of soyabean, *Glycine max*, with 6-benzyloaminopurine. *Bot. Gaz.* 151, 322-330.
- 163.Pickering F.S., Reis P.J.** (1993): Effects of abomasal supplements of methionine on wood growth of grazing sheep. *Aust.J. Exp. Agric.* 33, 7-12,
- 164.Pisulewska E.** (1997): Wartość pokarmowa nasion dwóch odmian soi w zależności od sezonu wegetacyjnego i terminu zbioru. *Acta Agraria et Sivistria, Series Agraria* 35, 107-119;
- 165.Pisulewska E.** (2000): Plonowanie polskich odmian soi oraz zawartość najważniejszych składników pokarmowych w ich nasionach. *Biul. Reg. Zakł. Dor. Roln. AR Krakow*, 320, 19-21
- 166.Podleśny J** (1997): Wpływ zaprawiania nasion nitraginą i molibdenem oraz nawożenia azotem na plonowanie łubinu białego. *Zesz. Prob. Post. Nauk. Rol.* 446, 287-290,

- 167.Podleśny J.** (2005): Rośliny strączkowe w Polsce – perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. *Acta Agroph.* 6(1), 213-224,
- 168.Politycka B.** (2007): Produktywność roślin [w: *Fizjologia roślin – od teorii do nauk stosowanych* pod red. Kozłowskiej M.], PWRiL, Poznań, 354-355,
- 169.Pospíšilová J., Synkova H., Rulcová J.** (2000): Cytokinins and water stress. *Biol. Plant.* 43(3), 321-328,
- 170.Pospíšilová J., Rulcová J., Vomáčka L.** (2001): Effect of benzyladenine and hydroxybenzyladenosine on gas exchange of bean and sugar beet leaves. *Biol. Plant.* 44, 523-528,
- 171.Pospíšilová J.** (2003): Interaction of cytokinins and abscisic acid during regulation of stomatal opening in bean leaves., *Photosynt.* 41 (1)., 49-56,
- 172.Pospíšilová J.** (2003): Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biol. Plantarum* 46(4), 491-506,
- 173.Prusiński J., Borowska M.** (2002) : Wpływ wybranych regulatorów wzrostu i Eklistu na skład chemiczny, żywotność i wigor łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). *Acta. Sci. Pol., Agricultura* 1(1), 81-97,
- 174.Pruszyński S.** (2008): Biostymulatory w ochronie r roślin. Konferencja: Biostymulatory w nowoczesnej uprawie roślin, Warszawa, 7-8 luty 2008, materiały konferencyjne – abstrakty, 12,
- 175.Przybysz A., Szalacha E. Wrochna M., Malecka-Przybysz M., Gawrońska H.** (2008): Wpływ biostymulatora Asahi SL na wybrane procesy fizjologiczne u roślin *Arabidopsis thaliana* (L.) Heinh., Konferencja: Biostymulatory w nowoczesnej uprawie roślin, Warszawa, 7-8 luty 2008, materiały konferencyjne – abstrakty, 56,
- 176.Przybysz A., Szalacha E., Malecka-Przybysz M., Słowiński A., Gawrońska H.** (2008): Sprawność aparatu fotosyntetycznego roślin rzepaku ozimego rosnących w warunkach polowych, traktowanych biostymulatorem Asahi SL., Konferencja: Biostymulatory w nowoczesnej uprawie roślin, Warszawa, 7-8 luty 2008, materiały konferencyjne – abstrakty, 58,
- 177.Reinecke D. M., Ozga J. A., Ilić N., Magnus V., Kojić-Prodić B.** (1999): Molecular properties of 4-substituted indole-3-acetic acids affecting pea perocarp elongation., *Pl. Growth Regul.* 27, 39-48,
- 178.Reinecke D. M.** (1999): 4-Chloroindole-3-acetic and plant growth. *Pl. Growth Regul.* 27, 3-13,

- 179.Reinecke D. M., Ozga J. A., Magnus V.** (1995): Effect of halogen substitution of indole-3-acetic acid on biological activity in pea fruit. *Phytochemistry* 40: 1361-1366,
- 180.Resse R. N., Dybing C. D., White C. A., Page S.M., Larson J. E.** (1995): Expression of vegetative storage protein (VSP- β) in soybean raceme tissues in response to flower set. *J. Exp.Bot.* 46, 957-964,
- 181.Rewerski** (1999): Witaminy. Pierwiastki o znaczeniu biologicznym [w: Podstawy farmakologii, pod redakcją Mészáros J., Gajewskiej-Mészáros S.], PZWL, Warszawa, 279-294,
- 182.Rodrigo M.J., Garcia-Martinez J., Santes C. M., Gaskin P., Hedden P.** (1997): The role of gibberellins A1 and A3 in fruit growth of *Pisum sativum* L. and the inedification of gibberellins A4 and A7 in young seeds. *Planta* 201, 446-455,
- 183.Rogalska-Niedźwiedz M.** (2000): Białko sojowe. *Debata* 2, 121-132,
- 184.Ruclová J., Pospíšilová J.** (2001): Effect of benzyloaminopurine on rehydration of bean plants after water stress., *Biol. Plant.* 44, 75-81,
- 185.Rylott P.D., Smith M.L.** (1990): Effects of applied growth substances on pod set in broad beans (*Vicia faba* var. major). *J. Agri. Sci.*, 114 , 41-47,
- 186.Saibo N. J. M., Vriezen W. H., Beemster G. T. S., Van Der Straeten D.** (2003): Growth and stomata development of *Arabidopsis* hypocotyls are controlled by gibberellins and modulated by ethylene and auxins. *The Plant Journal* 33, 989-1000,
- 187.Salleo S., Nardini A., Pitt F., Gullo M. A.** (2000): Xylem cavitation and hydraulic control of stomata conductance in laurel (*Laurus nobilis* L.). *Plant Cell Environ.* 23, 71-79,
- 188.San-Francisco S., Houdusse F., Zamarreno A. M., garnica M., Casanova E., Garcia-Mina J. M.** (2005): Effect of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content and free polyamine content of pepper plant cultivated in hydroponic conditions. *Scientia Hort.* 106, 38-52,
- 189.Santakumari M., Fletcher R. A.** (1987): Reversal of triazole-induced stomatal closure by gibberellic acid and cytokinins in *Commelina benghalensis*., *Physiol. Plant.* 71, 95-99,
- 190.Schroeder J. I., Allen G. J., Hugouvieux V., Kwak J. M., Maner D.** (2001): Guard cell signal transduction. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant mol. Biol* 52, 925-935,
- 191.Segovia A. J.** (1978): Relationship of phloem size to leaf size and position. *Crop Sci.* 18, 90-93,

- 192.Sexton P. J., Naeve S. L., Paek N. C., Shibles R.** (1998): Sulfur availability, cotyledon nitrogen: sulfur ratio, and relative abundance of seed storage proteins of soybean. *Crop Sci.* 38, 983-986,
- 193.Sexton P. J., Paek N. C., Shibles R. M.** (1998): Soybean sulfur and nitrogen balance under varying levels of available sulfur. *Crop Sci.* 38, 975-982,
- 194.Sexton P. J., Shibles R. M.** (1999): Activity of ATP Sulfurylase in Reproductive Soybean. *Crop Sci.* 39, 131-135,
- 195.Silveira H.L., Taborda M. L., Aguiar L., Leitao A.** (1984): Effect of growth regulators for fruit setting on pepper (*Capsicum annum* L.). *Acta Hort.* 191, 189-197,
- 196.Simon M.R.** (1994): Gene action and heritability for photosynthetic activity in two wheat crosses. *Euphytica* 76, 235-238,
- 197.Sitbon F., Perrot-Rechenmann C.** (1997): Expression of auxin-regulated genes. *Physiol. Plant.* 100, 443-455,
- 198.Sivakumar T., Virendranath, Srivastava G. C.** (2001): Effect of Benzyl Adenine and Abscisic Acid on Grain Yield and Yield Components in Triticale and Wheat., 2001., *J. Agron. Crop Sci.* , 186, 43-46,
- 199.Skalska M.** (1992): Wpływ regulatorów wzrostu na cechy morfologiczne , zawartość chlorofilu i plon nasion lucerny (*Medicago sativa* L.) w doświadczeniach wazonowych., *Biul. IHAR* 184, 59-65,
- 200.Skutnik E., Łukaszewska A., Tyborowska K.** (1999): Retarding senescence of cut leaves of *Hosta plantaginea* by growth regulators. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW Horticulture, Landscape Architecture* 20, 3-8,
- 201.Skutnik E., Rabiza-Świder J., Wachowicz M., Łukaszewska A. J.** (2004): Senescence of cut leaves of *Zantedeschia aethiopica* and *Z. elliottiana*. Part I. Chlorophyll degradation. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 3(2), 57-65,
- 202.Sowiński P. Parys E., Dembiński E., Flafus., Romanowska E., Ślaski J.** (1991): Rośliny w zmieniającym się klimacie – efekt szklarniowy. *Wiad. Bot.* 353/4, 17-34,
- 203.Smart C. M., Scofield S. R., Bevan M. W., Dyer T. A.** (1991): Delayed leaf senescence in tobacco plants transformed with tmr, a gene for cytokinin production in *Agrobacterium*. *Plant Cell* 3, 647-656,
- 204.Starck Z.** (1983): Photosynthesis and endogenous regulation of the source-sink relation in tomato plants. *Photosynt.* 17, 1-11,

- 205. Starck Z.** (1995): Współzależność pomiędzy fotosyntezą i dystrybucją asymilatów, a tolerancją roślin na niekorzystne warunki środowiska. *Post. Nauk Rol.* 3, 19-35,
- 206. Starck Z.** (1998): Transport floemowy i dystrybucja substancji pokarmowych, [w: *Podstawy fizjologii roślin*, pod red. Kopcewicza J., Lewaka S.], PWN Warszawa, 387-412,
- 207. Starck Z.** (1999): Niektóre aspekty różnicowania reakcji roślin na niekorzystne warunki środowiska – stare problemy, nowa interpretacja. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 469, 145-159,
- 208. Subrahmanyam D.** (2002): Interrelationship between leaf gas-exchange characteristics, area leaf mass, and yield in soybean (*Glycine max* L. Merr) genotypes. *Photosynt.* 40(3), 441-444,
- 209. Sujatha M., Reddy T. P.** (1998): Diferential cytokinin effect on stimulation of in vitro shoot proliferation from meristematic explants of castor (*Ricinus communis* L.). *Plant Cell Rep.* 17, 561-566,
- 210. Sunarpi & Anderson J.W.** (1996): Effect of sulfur nutrition on the redistribution of sulfur in vegetative soybean plants. *Plant Physiol.* 112, 623-631,
- 211. Sunarpi & Anderson J.W.** (1997): Allocation of S in generative growth of soybean. *Plant Physiol.* 114, 687-693,
- 212. Svenson S. E.** (1991): Rooting and lateral shoot elongation of *Verbena* following benzylaminopuric application. *Hort. Sci.* 26, 391-392,
- 213. Szydło W.** (2003): Charakterystyka auksyn. *Szkółkarstwo* 4, 28-29,
- 214. Szyrmer J.** (1987): Hodowla i wprowadzenie do uprawy krajowych odmian soi. *Biul. IHAR*, 164, 25-35,
- 215. Szyrmer J.** (1979): Stan badań i perspektywy wprowadzenia soi do uprawy w Polsce. *Zesz. Prob. Pos. Nauk Rol.* 3, 36 – 42,
- 216. Śnieg L., Bury M., Hury G., Nawracała J.** (2004): Wstępna ocena możliwości uprawy soi (*Glycine max* (L.) Merrill) w rejonie szczecina. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 242 (98), 175-180,
- 217. Świederski F., Iwaszkiewicz- Robak B.** (1996): Soja w żywieniu człowieka. *Biul. IHAR* 198, 163-170,
- 218. Święcicki W., Chudy M., Żuk-Golaszewska K.** (2007): Rośliny strączkowe w projektach badawczych Unii Europejskiej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 522, 55-65,

- 219. Thompson J. A., Nelson R. L., Schweitzer L. E.** (1995): Relationships among specific leaf weight, photosynthetic rate, and seed yield in soybean. *Crop Sci.* 35, 1575-1581,
- 220. Trejgell A., Kowalczy A., Tretyń A.** (2007): Wpływ regulatorów wzrostu na regenerację *in vitro* gatunków z rodzaju *Carlina*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 523, 237-245,
- 221. Van der Bonn J., Steenhuizen J. W., Steingröver E. G.** (1990): Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hortic. Sci.* 65, 309-321,
- 222. Von Richthofen J. S.** (2006a): What do European farmers think about grain legumes. *Grain Legumes* 45, 14-15,
- 223. Von Richthofen J. S.** (2006b): Economic impact of grain legumes in European crop rotations. *Grain Legumes* 45, 16-19,
- 224. Weaver C. M., Plawecki K. L.** (1994): Dietary calcium : adequacy of a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr* 59, 1238-1241,
- 225. Walter H. Lieth H.** (1960): Klimadiagramm – Weltatlas. Fischer Verlag, Jena,
- 226. Wierzbowska J.** (2006): Gospodarka wapniem i magnezem w roślinach pszenicy jarej w warunkach stosowania regulatorów wzrostu i zróżnicowanych dawek potasu. *J. Elementol.* 11(1), 109-118,
- 227. Wierzbowska J.** (2006): Gospodarka potasem pszenicy jarej w zależności od stosowania regulatorów wzrostu i poziomu nawożenia tym składnikiem. *J. Elementol.* 11(1), 99-107,
- 228. Wodzicki T. J.** (2004): Auksyna – czynnik komunikacji w procesach funkcjonalnego różnicowania układu ponadkomórkowego rośliny. *Post. biol. kom.* 31, 44-53,
- 229. Wróbel J., Marska E.** (1998): Wpływ nawozu dolomitowego na koncentrację wapnia, magnezu i potasu w liściach oraz strąkach dwóch odmian fasoli szparagowej jako wskaźnik jej wartości biologicznej. *Biul Magnezol.* 4, 199-205,
- 230. Wróbel J.** (2002): Efekt stosowania mieszaniny nitrofenolanów i nitroguajakolanu w uprawie *Salix viminalis* prowadzonej na podłożu antropogenicznym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 481, 615-620,
- 231. Zeller F. J.** (1999): Die Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.): Nutzung, Genetik, Biotechnologie., *Die Bodenkultur* 50 (3), 191-2002,
- 232. Zeiger E.** (1983): The biology of stomatal guard cells. *Plant. Physiol.* 34, 441-475,

- 233.Zhao Y.** (2008): The role of local biosynthesis of auxin and cytokinin on plant development. *Curr Opi Plant Biol* 11, 16-22,
- 234.Yazzie D., Van der Jaget D. J., Pastuszen A. Około A., Glwu R. H.** (1994): The amino acid mineral content of baobab (*Adansoina digitala* L.) Leaves. *J. Food Comp. Anal.* 7, 189-193.

Spis skrótów i symboli:

Al – odmiana Aldana,

P – odmiana Progres,

J – odmiana Jutro,

IBA – kwas indolilo-3-masłowy (auksyna),

BAP – 6-benzynoaminopuryna (cytokinina),

IBA+BAP – mieszanina kwas indolilo-3-masłowego i 6-benzynoaminopuryny,

A – natężenie asymilacji,

E – natężenie transpiracji,

g_s – przewodność szparkowa,

c_i – stężenie CO_2 w przestworach międzykomórkowych,

$L_{ap.sz.}$ – liczba aparatów szparkowych na mm^2 dolnej i górnej epidermy liścia,

$Dl_{sz.cz.}$ – długość szczeliny szparkowej,

s.m.s – sucha masa strąków,

ś.m.s. – świeża masa strąków,

s.m.n. – sucha masa nasion,

ś.m.n. – świeża masa nasion,

r – współczynnik korelacji.