

Wpływ warunków klimatycznych na reakcję przyrostową trzech gatunków jodły rosnących w Rogowie (centralna Polska)

Szymon Bijak, Agnieszka Bronisz, Karol Bronisz

Abstrakt. Celem pracy było poznanie i porównanie odpowiedzi rodzimego oraz obcych gatunków jodły rosnących w tych samych warunkach w środkowej Polsce na oddziaływanie czynników klimatycznych. Materiał badawczy zebrano na terenie Arboretum oraz LZD SGGW w Rogowie. Ze zdrowych i dominujących okazów jodły olbrzymiej (*Abies grandis*), jodły kaukaskiej (*A. nordmanniana*) oraz jodły pospolitej (*A. alba*) pobrano z pierśnicy po jednym wywiercie dordzeniowym. Dla każdego gatunku powiercono 15 drzew i opracowano chronologie gatunkowe. Następnie porównano uzyskane sekwencje z wartościami średniej miesięcznej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych na stacji meteorologicznej LZD Rogów w latach 1971-2010. Wyznaczono też lata wskaźnikowe, które odniesiono do wystąpienia ekstremalnych warunków klimatycznych. Przyrost radialny badanych gatunków jodły w niewielkim zakresie zależał od temperatury i opadów. Dodatkowo stwierdzone związki nie były stabilne w czasie. Jedyne negatywny rok wskaźnikowy wspólny dla badanych gatunków spowodowany był wyjątkowo ciepłym lutym.

Słowa kluczowe: dendroklimatologia, *Abies grandis*, *A. nordmanniana*, *A. alba*, centralna Polska

Abstract. Impact of climate conditions on radial increment of three fir species in Rogów, central Poland. The aim of the study was to investigate and compare the response of native and alien fir species growing in the same conditions to the impact of climatic factors. The material was collected in Rogow, central Poland. We collected increment cores, one per tree, from healthy and dominant specimens of *Abies grandis*, *A. nordmanniana* and *A. alba*. For each species we sampled 15 trees and later on developed standard chronology. Then we compared the obtained sequences with mean monthly air temperature and precipitation totals at meteorological station in the years 1971-2010. We determined also the pointer years, which were related to the occurrence of extreme climatic conditions. The radial increment of analysed fir species to a limited extent depended on the temperature and precipitation. Additionally, identified relationships were not stable over time. The only negative pointer year common for all species was caused by exceptionally warm February.

Key words: dendroklimatologia, *Abies grandis*, *A. nordmanniana*, *A. alba*, central Poland

Wstęp

Dendroflora Polski charakteryzuje się stosunkowo małym bogactwem gatunków rodzimych (Belon i in. 1977). Obecność egzotów w parkach czy założeniach krajobrazowych ma długą tradycję, jednakże intensywne próby wprowadzenia obcych gatunków do gospodarki leśnej na terenie dzisiejszej Polski wiążą się z działalnością leśników niemieckich w XIX wieku. Dążenie do wzbogacania składu gatunkowego naszych lasów o gatunki obce było jednym z elementów polskiej polityki leśnej w drugiej połowie XX wieku i uważane było wówczas za uzasadnione (Bellon i in. 1977). Obecnie odchodzi się od ich wprowadzania do lasów na szerszą skalę, szczególnie jeżeli zostaną uznane za gatunki inwazyjne (Kozakiewicz 2002). Jednak w szczególnych okolicznościach gospodarczych takie działania mogą być celowe. Zawsze należy jednak posiadać możliwie dokładną i szeroką wiedzę o uwarunkowaniach wzrostu i możliwościach adaptacyjnych wybranych gatunków.

Dawniejsze polskie badania nad obcymi gatunkami drzew koncentrowały się przede wszystkim na dynamice wzrostu i zasobności drzewostanów, czyli na korzyściach gospodarczych, użyteczności produkowanego drewna, odporności drzew gatunków obcych na zanieczyszczenie środowiska oraz na właściwościach hodowlanych (Białobok i Chylarecki 1965, Belon i in. 1977). Obecnie kwestia adaptacji obcych gatunków drzew leśnych do warunków klimatycznych naszego kraju stanowi coraz częściej podejmowany problem badawczy (Feliksik i Wilczyński 2004, 2008, Bijak i in. 2012a, b, Gławenda i Koprowski 2012). Wiedza o wpływie środowiska naturalnego, w tym klimatu, na funkcjonowanie różnych gatunków drzew jest jednym z głównych wymagań prowadzenia właściwej gospodarki leśnej. Wiąże się to z podstawową rolą, jaką warunki klimatyczne odgrywają w formowaniu przyrostu rocznego drzew (Fritts 1976, Schweingruber 1996). Szczególne znaczenie odgrywa dynamika warunków meteorologicznych, charakteryzująca się znacznymi wahaniami zarówno w miesiąca na miesiąc, a także z roku na rok. Te zmienne warunki powodują zakłócenia we wzroście i rozwoju roślin, prowadząc często do ich poważnego uszkodzenia (Fritts 1976, Schweingruber 1996).

Dotychczasowe polskie badania dendroklimatologiczne obcych gatunków drzew dotyczyły najpopularniejszych w naszych lasach: daglezi zielonej *Pseudotsuga menziesii* (Cedro 2004, Feliksik i Wilczyński 2004, 2009; Bijak 2013) i dęba czerwonego *Quercus rubra* (Bijak i in. 2012a, b; Cedro i Nowak 2013). Ponadto Feliksik i Wilczyński (2008) przeprowadzili analizy wpływu klimatu na przyrost świerka sitkajskiego *Picea sitchensis*, Gławenda i Koprowski (2012) – choiny zachodniej *Tsuga heterophylla*, Wilczyński i in. (2014) – metasekwoi chińskiej *Metasequoia glyptostroboides*, a Bijak i Gławenda (2015) – żywotnika olbrzymiego *Thuja plicata*.

Celem pracy jest porównanie przebiegu przyrostu radialnego introdukowanych jodły olbrzymiej (*Abies grandis*) i jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana*) oraz rodzimej jodły pospolitej (*Abies alba*) rosnących w tych samych warunkach w środkowej Polsce, a także porównanie odpowiedzi tych gatunków na oddziaływanie czynników klimatycznych.

Material i metody

Materiał badawczy zebrano na terenie Arboretum oraz LZD SGGW w Rogowie (51°49' N, 19°53' E). Z pierśnicy zdrowych i dominujących okazów jodły olbrzymiej (*Abies grandis*), jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana*) oraz jodły pospolitej (*Abies alba*) pobrano świdrem Presslera po jednym wywiercie dordzeniowym. Dla każdego gatunku powiercono 15

drzew. Po przesuszeniu i wyszlifowaniu ich powierzchni zebrane wywierty zostały zeskanowane w rozdzielczości 1200 dpi. Szerokości słoju rocznych zmierzono za pomocą programu CooRecorder (www.cybis.se). Na tej podstawie opracowano osobnicze sekwencje szerokości słoju rocznych. Następnie w programie CDdendro (www.cybis.se) dokonano synchronizacji poszczególnych serii pomiarowych i sprawdzono poprawność wykonanych pomiarów. Oce-niono również podobieństwo chronologii z poszczególnych drzew do pozostałych sekwencji w obrębie badanych gatunków. Sekwencje najmniej podobne do pozostałych wyłączone z dalszej analizy. W efekcie do dalszych badań wykorzystano 12 sekwencji jodły olbrzymiej (*Abies grandis*), 15 jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana*) oraz 15 jodły pospolitej (*Abies alba*).

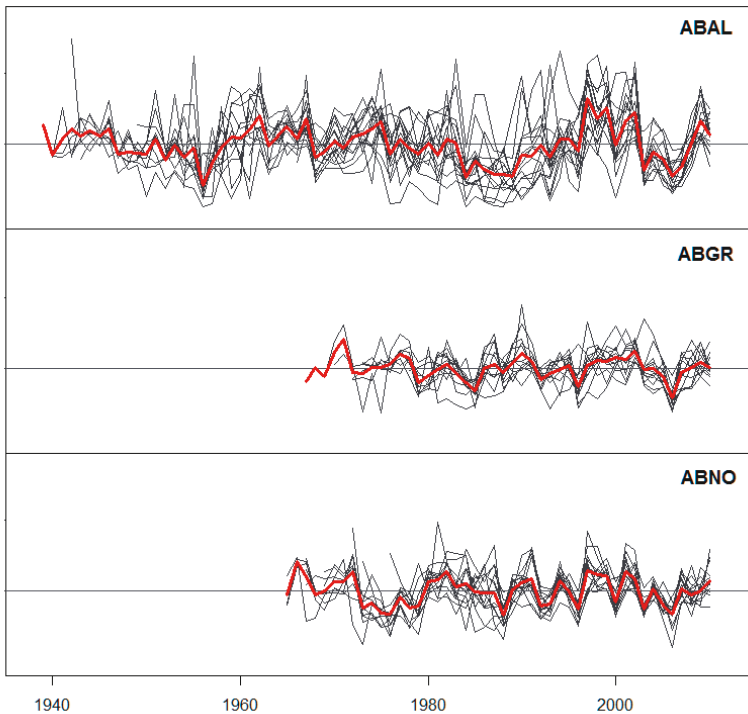
Dla badanych gatunków opracowano chronologie rzeczywiste, będące średnią arytmetyczną serii przyrostów rocznych, oraz standardowe, czyli pozbawione trendu wiekowego serie indeksów przyrostu rocznego. Indeksację przeprowadzano stosując pakiet „dplr” (Bunn 2008) ze środowiska R (www-r-project.org). Do eliminacji zmienności związanej z wiekiem wykorzystano funkcję sklejającą o domyślnych wartościach parametrów zawartych w pakiecie „dplr”. Opracowano także chronologie rezydualne, które powstały z chronologii standardowych przez usunięcie autokorelacji z serii indeksów przyrostowych. Sekwencje te wykorzystano w analizach dendroklimatologicznych.

Wpływ warunków klimatycznych na przyrost badanych gatunków jodeł na grubość określono na podstawie analizy tzw. funkcji odpowiedzi (ang. response function, Fritts 1976), która w modelu regresji i korelacji wielorakiej wiąże szerokość słoja (zmienna zależna) z parametrami klimatycznymi (zmienne wyjaśniające). Obliczenia wykonano w pakiecie „bootRes” (Zang i Biondi 2013) ze środowiska R (www-r-project.org). Jako dane wejściowe wykorzystano chronologie rezydualne oraz średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych od czerwca roku poprzedzającego formowanie się słoja do września roku tworzenia przyrostu (16 miesięcy). Analizę przeprowadzono dla lat 1971-2010, czyli okresu wspólnego dla wszystkich gatunków. Ważną kwestią jest trwałość istotności zaobserwowanych relacji dendroklimatycznych w czasie. Jej oceny dokonuje się na podstawie analizy ruchomej funkcji odpowiedzi. Polega ona na obliczaniu współczynnika korelacji dla kolejnych okresów o tej samej długości, ale różnych (przesuwanie o 1 rok) datach początku i końca (Biondi 1997). Ze względu na dość krótki zakres czasowy chronologii obcych gatunków jodeł obliczeń dokonano dla okresów o długości 20 lat. Wykorzystane w pracy dane klimatyczne pochodziły z prowadzonej przez Katedrę Hodowli Lasu SGGW stacji meteorologicznej w Rogowie.

Dla analizowanych gatunków wyznaczono również lata wskaźnikowe, czyli takie, w których badane drzewa odłożyły szczególnie szeroki bądź wąski słuój przyrostu rocznego. Zastosowano metodę „normalizacji w ruchomym oknie”, a obliczenia wykonano przy użyciu pakietu „pointRes” (van der Maaten-Theunissen i in. 2015) ze środowiska R (www-r-project.org). Zastosowano domyślną długość okna (5 lat), a reakcja przyrostowa była definiowana jako ekstremalna, gdy jej wartość była większa niż połowa odchylenia standardowego dla całej serii. Jeżeli przynajmniej 75% drzew z jednego gatunku wykazywało w danym roku ten sam ekstremalny rodzaj reakcji przyrostowej (zarówno pozytywnej, jak i negatywnej), to taki rok określano jako rok wskaźnikowy. W celu wyjaśnienia przyczyn wystąpienia poszczególnych lat wskaźnikowych przeanalizowano warunki klimatyczne, które wówczas panowały i odniesiono je do średnich wartości poszczególnych parametrów z lat 1971-2010.

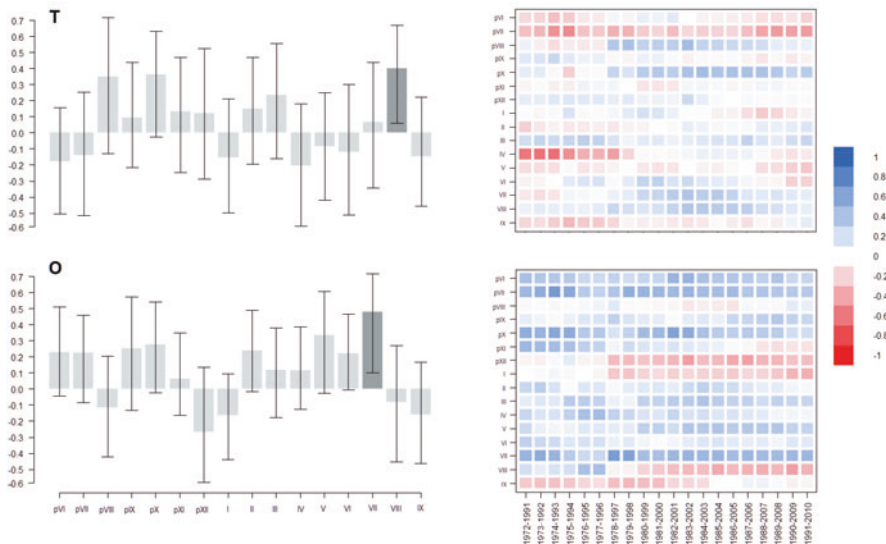
Wyniki

Opracowane chronologie jodeł z Rogowa obejmują okres 1939-2010 (jodła pospolita), 1967-2010 (jodła olbrzymia) oraz 1965-2010 (jodła kaukaska). Oba obce gatunki jodły są znacznie młodsze w porównaniu do rodzimego, co zapewne wpłynęło na wyniki analizy dendroklimatologicznej. Średni roczny przyrost jodły pospolitej w okresie, który obejmuje zestawiona chronologia, wynosił 2,27 mm, a odchylenie standardowe szerokości słoja przyrostu rocznego – 0,85 mm. Przeciętna szerokość słoja jodły olbrzymiej była znacznie większa niż u gatunku rodzimego i wyniosła 5,43 mm. Większy był także zakres zmienności średniego przyrostu rocznego w zbudowanej chronologii wniesło 1,22 mm. Z kolei średni roczny przyrost jodły kaukaskiej wynosił 3,80 mm, a odchylenie standardowe 1,09 mm. Chronologie obcych gatunków jodły (0,159 – olbrzymia, 0,209 – kaukaska) cechowały się też mniejszą średnią wrażliwością niż sekwencje jodły pospolitej (0,224). Przebieg zmian przyrostu obu gatunków na grubość w czasie cechował się sporym stopniem podobieństwa (Ryc. 1).



Ryc. 1. Indywidualne (czarne) i gatunkowe (czerwony) chronologie standardowe jodły pospolitej (ABAL), olbrzymiej (ABGR) i kaukaskiej (ABNO) z Rogowa

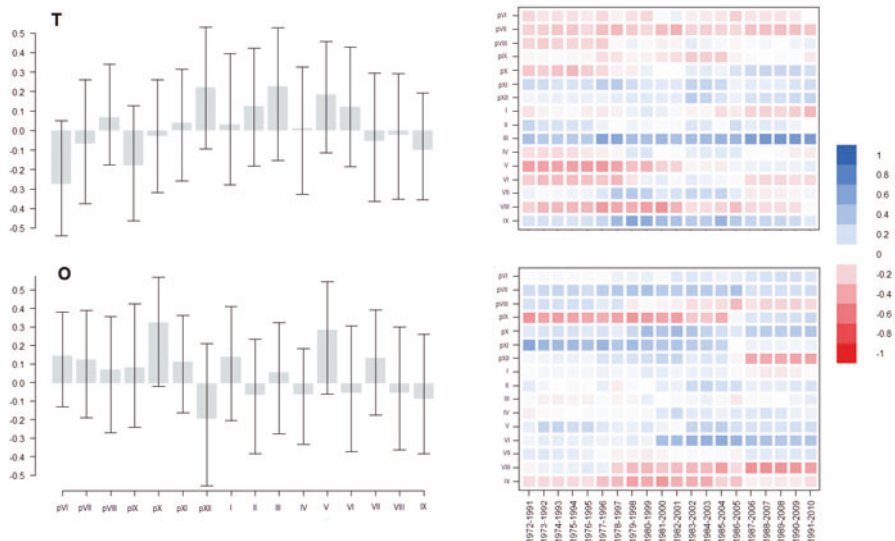
Fig. 1. Individual (black) and species (red) standard chronologies for silver (ABAL), grand (ABGR) and Caucasian (ABNO) firs from Rogów



Ryc. 2. Wartości stacjonarnej (lewo) oraz ruchomego (pravo) współczynnika korelacji między średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz sumą opadów atmosferycznych (O) a chronologią rezydualną jodły pospolitej; ciemne słupki oznaczają wartości istotne na poziomie 0,05; p – miesiące roku poprzedzającego odłożenie słoja

Fig. 2. Stationary (left) and moving (right) correlation coefficients between mean monthly temperature (T) or monthly precipitation (O) and residual chronology of silver fir; dark bars indicate values significant at $p=0.05$; p – months in year prior to tree-ring formation

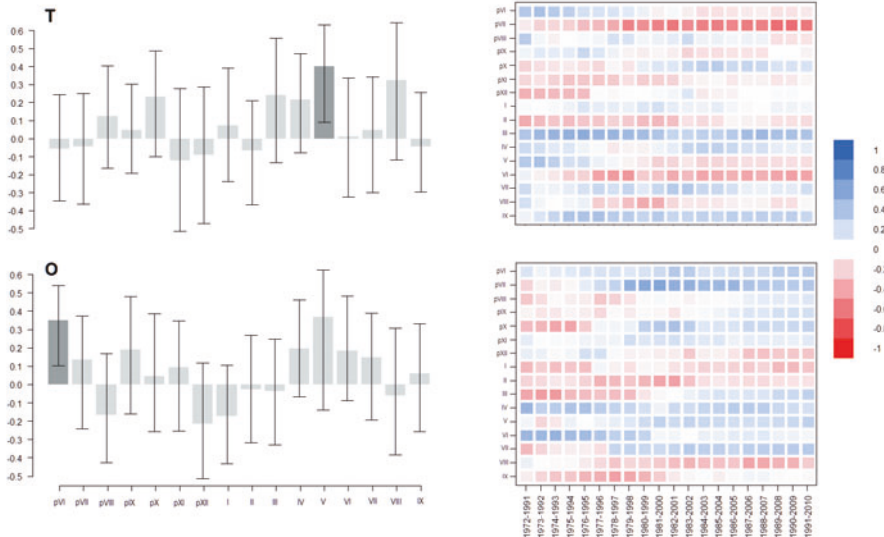
Badane gatunki jodły charakteryzowały się zblizoną, ale dość znikomą zależnością rocznego przyrostu grubości od warunków klimatycznych (Ryc. 2-4). Istotnie statystycznie związki stwierdzono jedynie dla relacji przyrostu jodły pospolitej i temperatury lipca oraz opadów czerwca, a także przyrostu jodły kaukaskiej i temperatury maja oraz opadów czerwca w roku poprzedzającym formowanie się słoja. W przypadku jodły olbrzymiej nie zaobserwowano istotnego wpływu średniej miesięcznej temperatury powietrza lub sumy opadów atmosferycznych na szerokość słoja przyrostu rocznego. U wszystkich gatunków stwierdzono natomiast dodatnią (aczkolwiek nieistotną statystycznie) korelację z szerokością słoju opadów w maju oraz wysoką ujemną (i także nieistotną) korelację opadów w grudniu roku poprzedzającego tworzenie słoja. W przypadku temperatury taką zależność zaobserwowano w październiku roku poprzedzającego przyrost (korelacja dodatnia, również nieistotna). Stwierdzone zależności przyrostu radialnego badanych jodeł od warunków klimatycznych cechują się niewielką stabilnością czasową (Ryc. 2-4).



Ryc. 3. Wartości stacjonarnego (lewo) oraz ruchomego (pravo) współczynnika korelacji między średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz sumą opadów atmosferycznych (O) a chronologią rezydualną jodły olbrzymiej; ciemne słupki oznaczają wartości istotne na poziomie 0,05; p – miesiące roku poprzedzającego odłożenie słoja

Fig. 3. Stationary (left) and moving (right) correlation coefficients between mean monthly temperature (T) or monthly precipitation (O) and residual chronology of grand fir; dark bars indicate values significant at $p=0.05$; p – months in year prior to tree-ring formation

W okresie 1971-2010 wyznaczono u badanych gatunków łącznie 20 lat wskaźnikowych, w tym 7 pozytywnych i 13 negatywnych. Najbardziej wrażliwa na ekstremalne warunki wzrostu okazała się jodła kaukaska. Stwierdzono u niej 12 lat wskaźnikowych, z czego 4 były pozytywne, a 8 – negatywne. U jodły olbrzymiej wyznaczono 8 lat wskaźnikowych, a u rodzimej jodły pospolitej – zaledwie 5. Jedynie jeden rok wskaźnikowy (2008, negatywny) stwierdzono u wszystkich trzech badanych gatunków. Szczegółowa analiza warunków klimatycznych panujących w tym roku wskazuje, że prawdopodobną przyczyną obniżonego przyrostu badanych jodeł była susza. Suma opadów atmosferycznych w czerwcu i lipcu była zdecydowanie niższa od średniej z wielolecia (VI – 13 vs. 66 mm, VII – 52 vs. 87 mm). Dodatkowo wyjątkowo ciepła zima (temperatura w styczniu i lutym o ok. 3°C wyższa niż przeciętnie) mogły przyspieszyć aktywność kambium, dla której zabrakło później wilgoci.



Ryc. 4. Wartości stacjonarnego (lewo) oraz ruchomego (pravo) współczynnika korelacji między średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz sumą opadów atmosferycznych (O) a chronologią rezydualną jodły kaukaskiej; ciemne słupki oznaczają wartości istotne na poziomie 0,05; p – miesiące roku poprzedzającego odłożenie słoja

Fig. 4. Stationary (left) and moving (right) correlation coefficients between mean monthly temperature (T) or monthly precipitation (O) and residual chronology of Caucasian fir; dark bars indicate values significant at $p=0.05$; p – months in year prior to tree-ring formation

Dyskusja

Rodzimy gatunek jodły jest dość dobrze rozpoznany pod względem dendroklimatologicznym. Liczne prace analizowały wpływ warunków klimatycznych na przyrost tego gatunku w obrębie zasięgu jego występowania (Bronisz i in. 2010, Wertz i Wilczyński 2012, Wilczyński i Wertz 2012, Wertz i in. 2014), jak i poza nim (Koprowski i Gławenda 2007, Bijak 2010). Stwierdzone w tej pracy zależności przyrostu jodły pospolitej od klimatu znajdują pewne potwierdzenie w pracy Bronisz i in. (2010) oraz Wilczyńskiego i Werta (2012). Różnią się natomiast od wyników Bijaka (2013). Przyczyny tych różnic należy upatrywać w krótszym okresie analizowanych danych klimatycznych i innej metodą standaryzacji chronologii, jakie zastosowano w niniejszej pracy.

Z kolei jodła kaukaska była jak dotąd przedmiotem niewielu badań wykorzystujących słoje przyrostu rocznego (Ozkan i Akbulut 2003, Köse 2012). Większość z nich dotyczyła rekonstrukcji warunków pluwialnych w zachodniej (Akkemik i in. 2008) lub północno-wschodniej (Hughes i in. 2001, Martin-Benito i in. 2016) części Turcji. Wyniki naszych badań pokazują, że w warunkach Polski centralnej najważniejszym czynnikiem wpływającym

cym na przyrost radialny jodły kaukaskiej są warunki klimatyczne w pierwszej części okresu wegetacyjnego roku odkładania przyrostu, przede wszystkim w maju. W tym czasie *Abies nordmanniana* rosnąca w Rogowie wymaga dużej ilości ciepła i wilgoci (Ryc. 4). Z kolei według Köse (2012) jodła kaukaska potrzebuje znacznej ilości opadów przez cały okres od kwietnia do czerwca. Dodatkowo, odwrotnie niż w przypadku naszych badań, autorka ta stwierdziła negatywną korelację szerokości przyrostu rocznego i temperatury powietrza w maju i czerwcu. Wpływ na to mógł mieć fakt, że badane przez nią stanowisko znajdowało się w górach, na wysokości 800 m n.p.m. W przypadku stanowiska z wysokości 1700 m n.p.m. Akkemik i in. (2008) nie stwierdzili istotnego wpływu opadów na przyrost jodły kaukaskiej. Natomiast Hughes i in. (2001) oraz Martin-Benito i in. (2016) wykorzystali zależność przyrostów tego gatunku od opadów w okresie maj-czerwiec do rekonstrukcji tego parametru.

Zaskakujący jest brak analiz dendroklimatologicznych jodły olbrzymiej. Jedyne dostępne prace dotyczą właściwości fizycznych drewna tego gatunku (Wąsik 2012) oraz wpływu, jaki na przyrost radialny wywierają lata nasienne i produkcja szyszek (Eis i in. 1965).

Badane przez nas populacje obcych gatunków jodły są stosunkowo młode (ok. 45 lat) i dodatkowo młodsze o 25 lat od stanowiska jodły rodzimej. Przekłada się to na trudności w porównaniu reakcji przyrostowej badanych jodeł na klimat, gdyż jest ona zależna od wieku drzew (Carrer i in. 2004, Wilczyński i in. 2014). Mimo podobnego ogólnego obrazu relacji klimat – przyrost radialny, można zauważyć, że analizowane gatunki obce są bardziej niż rodzimy wrażliwe na ekstremalne warunki klimatyczne panujące w Rogowie, o czym świadczy większa liczba wyznaczonych lat wskaźnikowych. Może to oznaczać, że jodły kaukaska i olbrzymia jeszcze nie w pełni zaadaptowały się do lokalnych warunków wzrostu. Co ciekawe, Bijak i in. (2012b) nie stwierdzili w podatności na ekstremalne warunki klimatyczne różnicy między rosnącymi w Rogowie dębem czerwonym a szypułkowym.

Wnioski

- Rosnące w LZD Rogów jodła olbrzymia, kaukaska i pospolita cechują się zbliżonym przebiegiem zmian przyrostu na grubość w czasie.
- Wykazują również podobną, niewielką zależność szerokości słoja przyrostu rocznego od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych.
- Obce gatunki jodły są bardziej podatne na przypadki ekstremalnych warunków klimatycznych.

Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach grantu MNiSW NN309170639 pt. „Wpływ warunków klimatycznych na przyrost oraz aktywność kambialną rodzimych i obcych gatunków drzew w LZD Rogów”.

Literatura

- Akkemik Ü., D'Arrigo R., Cherubini P., Köse N., Jacoby G. 2008. Tree-ring reconstructions of precipitation and streamflow for north-western Turkey. *International Journal of Climatology*. 28: 173-183.
- Bellon S., Tumiłowicz J., Król S. 1977. Obce gatunki drzew w gospodarstwie leśnym. PWRiL, Warszawa.
- Białobok S., Chylarecki L. 1965. Badania nad uprawą drzew obcego pochodzenia w Polsce w warunkach siedliska leśnego. *Arbor. Kórnickie* 10.

- Bijak Sz. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (northern Poland). *Geochronometria* 35: 91-94.
- Bijak Sz. 2013. Sygnał klimatyczny w przyroście radialnym wybranych iglastych gatunków drzew w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Rogów. *Leśne Prace Badawcze* 74(2): 101-110.
- Bijak Sz., Bronisz A., Bronisz K. 2012a. Wpływ czynników klimatycznych na przyrost radialny dębu szypułkowego i czerwonego w LZD Rogów. *Studia i Materiały CEPL* 30: 121-128.
- Bijak Sz., Bronisz A., Bronisz K. 2012b. Wpływ ekstremalnych warunków klimatycznych na przyrost radialny dębu czerwonego *Quercus rubra* w LZD Rogów. *Studia i Materiały CEPL* 33: 163-170.
- Biondi F. 1997. Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia* 15: 139-150.
- Bronisz A., Bijak Sz., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. *Sylvan* 154(7): 463-470.
- Bugała W. 2000. *Drzewa i krzewy*. Warszawa: PWRiL.
- Bunn A.G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26: 115-124.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730-740.
- Cedro A. 2004. Zmiany klimatyczne na Pomorzu Zachodnim w świetle analizy sekwencji przyrostów rocznych sosny zwyczajnej, daglezi zielonej i rodzimych gatunków dębów. *Oficyna IN PLUS*.
- Cedro A., Nowak G. 2013. Tree ring width and health status of the red oak (*Quercus rubra* L.) under urban conditions in Szczecin (NW Poland). *Plant Div. Evol.* 130: 183-194.
- Eis S., Garman E.H., Ebell R.F. 1965. Relation between cone production and diameter increment of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), Grand Fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl), and Western White Pine (*Pinus monticola* Dougl.). *Can. J. Bot.* 43: 1553-1559.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2004. Klimatyczne uwarunkowania przyrostu radialnego daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) rosnącej na obszarze Polski. *Sylvan* 148(12): 31-38.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Sylvan* 152(6): 3-13.
- Feliksik, E., Wilczyński, S. 2009. The effect of climate on tree ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria* 33: 49-57.
- Fritts H. 1976. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press.
- Gławenda M., Bijak Sz. 2015. Sygnał klimatyczny w przyrostach rocznych żywotnika olbrzymiego (*Thuja plicata*) z dwóch stanowisk w Polsce. *Zarządzanie ochroną przyrody w lasach* 8: 95-102. DOI:10.5604/20811438.1158031
- Gławenda M., Koprowski M. 2012. Dendrochronologiczna analiza przyrostów radialnych choiny zachodniej (*Tsuga heterophylla* Sarg.) z Pomorza Zachodniego (Nadleśnictwo Dobrzyń). *Sylvan* 156(4): 287-293.
- Hughes M.K., Kuniholm P.I., Eischeid J.K., Garfin G., Griggs C.B., Latini C. 2001. Aegean tree-ring signature years explained. *Tree-ring Res* 57(1): 67-73.
- Koprowski M., Gławenda K. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). *Sylvan* 151(11): 35-40.
- Köse N. 2012. Climatic Factors Affecting Tree-Ring Growth of *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen from Kastamonu, Turkey. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 62(1): 71-83.
- Kozakiewicz P. 2002. *Obce drzewa w naszym lesie*. Przyroda Polska 5.
- Martin-Benito D., Ummenhofer C.C., Köse N., Güner H. T., Pederson N. 2016. Tree-ring reconstructed May-June precipitation in the Caucasus since 1752 CE. *Clim. Dyn.* 10.1007/s00382-016-3010-1.
- Ozkan Z. C., Akbulut S. 2003. Dendrochronology of *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana* in the Orumcek forests in Kurtun-Gumushane. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi* 4(1/2): 8-13.
- Schweingruber F. H. 1996. *Tree Rings and Environment - Dendroecology*. WSL FNP.
- van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Bouriaud O. 2015. PointRes: an R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia* 35: 34-38. doi:10.1016/j.

dendro.2015.05.006.

- Wąsik R. 2012. Zastosowanie analizy dendrochronologicznej do określania zmienności gęstości drewna na przekroju poprzecznym pnia, na przykładzie jodły olbrzymiej (*Abies grandis* Lindl.). *Studia i Materiały CEPL* 30: 260-267.
- Wertz B., Wilczyński S. 2012. Dendrochronologiczna ocena zmian przyrostu radialnego jodły (*Abies alba* Mill.) i modrzewia (*Larix decidua* Mill.) znajdujących się pod wpływem imisji. *Studia i Materiały CEPL* 30: 268-278.
- Wertz B., Wilczyński S., Muter E. 2014. Dendrochronologiczna ocena przyrostu grubości jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Polskich Karpatach. *Studia i Materiały CEPL* 40: 88-98.
- Wilczyński S., Szymański N., Wertz B., Muter E. 2014. Wpływ wieku na odpowiedź przyrostową drzew na czynnik klimatyczny na przykładzie modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL* 40: 256-264.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły pospolitej oraz modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL* 30: 66-74.
- Wilczyński S., Muter E., Wertz B. 2014. The application of the tree-ring chronologies in assessing ecological requirements of *Metasequoia glyptostroboides* growing in southern Poland. *Geochronometria* 41(2): 129-135. DOI 10.2478/s13386-013-0149-y.
- Zang Ch., Biondi F. 2013. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia* 31: 68-74.

Szymon Bijak*, Agnieszka Bronisz, Karol Bronisz

Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie

*szymon.bijak@wl.sggw.pl