

Ocena długodystansowego rozsiewu rokitnika zwyczajnego (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwałowisku wewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów

Assessment of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) long distance dispersal on the internal waste heap of the Bełchatów lignite mine

Leszek Bolibok^{1*}, Monika Kubiak², Sebastian Michalski³

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu, ul. Nowoursynowska 159/34, 02-776 Warszawa;

²Nadleśnictwo Radomsko, ul. Piłsudskiego 3, 97-500 Radomsko; ³Nadleśnictwo Łochów, ul. Wyszowska 28, 07-130 Łochów

*Tel. +48 22 5938106, e-mail: leszek_bolibok@sggw.pl

Abstract. Long distance dispersal is a key process occurring in plant communities and is particularly important for pioneer species like sea-buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) which survival strongly depends on colonizing newly created post-disturbance habitats. Sea-buckthorn, a cluster-forming shrub, is commonly used in Poland in the reclamation of soil-less areas devastated by mining industry and for these areas a generative expansion of planted populations is usually observed. The main objective of this study was to assess the long-distance dispersal of this species in areas previously disturbed by industrial activity. Our observations were made on a 223.75 ha large section of the internal waste heap of the Bełchatów lignite mine, Central Poland. The area was colonized by sea-buckthorn specimens originating from a population planted on the nearby external waste heap. During the search for newly established sea-buckthorn clusters, their position and size were recorded and the preferences for specific site conditions were assessed using the Ivlev's electivity index. New specimens were observed at distances between 600 m and 3600 m from their potential seed source. The mean cluster density was 1.37 ha⁻¹. The observed pattern of long distance dispersal is linked with behavior of frugivorous birds. The largest cluster densities were observed along ditches (9.83 ha⁻¹) and on open areas with less developed plant cover, while the lowest cluster density occurred in afforested areas (0.51 ha⁻¹). Poor sandy substrate reduced the probability of plant establishment compared to richer loamy sands. There appeared to be no influence of slope aspect on the probability of sea-buckthorn establishment.

Keywords: long distance dispersal, sea-buckthorn, soil conditions, slope aspect

1. Wstęp

Rokitnik zwyczajny (*Hippophaë rhamnoides* L.) występuje w Polsce na stanowiskach naturalnych tylko na wybrzeżach Bałtyku (Kapuściński 1978; Surmiński 2008). Najczęściej spotykany jest na klifach, gdzie fale morskie podmywające brzegi powodują dość częste powstawanie osuwisk odsłaniających tereny bezglebowe. Rokitnik efektywnie „odnajduje” i kolonizuje nowe tereny dzięki ekspansji generatywnej (głównie zoochorii). Jest to typowy gatunek pionierski, który swoją obecnością stabilizuje podłoże, poprzez opad liści zwiększa dostępność azotu w powstającej glebie i poprawia warunki wzrostu innych roślin. W zaroślach rokitnika często odnawiają się buk (*Fagus sylvatica* L.), jawor (*Acer pseudoplatanus* L.) i inne gatunki drzewiaste dalszych stadiów sukcesji, z czasem przerastając go i eliminując ze zdobytego siedliska (Kornaś 1977). Słabość wobec konkurencji gatunków późnosukcesyjnych sprawia, że przetrwanie

rokitnika jest silnie uzależnione od jego zdolności do dyspersji na nowe, często daleko położone tereny. Istotną w ekologii tego gatunku ekspansja długodystansowa była tylko wzmiankowana w literaturze (Zalewska 1955; Pearson, Rogers 1962) i prawie (Bolibok et al. 2009) nie była badana.

Badanie długodystansowego rozsiewu rokitnika na osuwiskach klifowych w siedliskach naturalnych jest trudne do wykonania z przyczyn metodycznych. Według Leveya i in. (2008) w przypadku rozsiewu długodystansowego (powyżej 150 m) zagęszczenie nasion docierających na jednostkę powierzchni wraz z odległością gwałtownie spada i najwyżej 1% całej produkcji nasion jest rozsiewany na dalekie dystanse (Cain et al. 2000). Stosunkowo niewielka powierzchnia osuwisk oraz duża odległość rozsiewu sprawiają, że potencjalnie może tam dotrzeć nikły odsetek nasion. Do funkcjonowania populacji tego gatunku może to być wystarczające, ale to zbyt mało do opisu ekspansji metodami ilościowymi.

Wpłynęło: 17.10.2017 r., zrecenzowano: 21.11.2017 r., zaakceptowano: 12.12.2017 r.

Dobry wzrost rokitnika na terenach bezglebowych sprawia, że od dawna jest on stosowany do rekultywacji terenów zdegradowanych (Greszta, Morawski 1972; Kluczyński 1979), gdzie łatwo rozprzestrzenia się generatywnie (Bolibok et al. 2009). Ekspansywność rokitnika może być przyczyną poważnych problemów gospodarczych. W niektórych rejonach Polski, np. w Nadleśnictwie Olkusz, wprowadzony w procesie rekultywacji rokitnik rozprzestrzenia się w uprawach leśnych, stanowiąc poważną konkurencję dla odnawianych celowo gatunków. W Nadleśnictwie Bełchatów kępy rokitnika rozrastają się i blokują przejezdność niektórych dróg leśnych na terenie zwałowiska zewnętrznego. Poznanie potencjału i uwarunkowań ekspansji rokitnika może mieć znaczenie praktyczne dla gospodarki leśnej w rejonach, gdzie planowane jest wprowadzanie tego gatunku.

Wydobycie węgla brunatnego metodą odkrywkową w Polsce powoduje powstawanie bardzo rozległych terenów bezglebowych, pozbawionych roślinności. Bardzo duża skala przestrzenna tych obiektów zwiększa szansę na odszukanie wystarczająco dużej liczby nowych osobników rokitnika, aby można było na tej podstawie wnioskować o mechanizmach jego ekspansji. W KWB Bełchatów rokitnik był wprowadzany sztucznie na zwałowisku zewnętrznym w celu stabilizacji zgromadzonego nadkładu (Krzaklewski 1978). Powstała tam populacja rokitnika stanowi silne, skoncentrowane (w skali krajobrazu) pierwotne źródło nasion, z którego zaczął on spontanicznie rozsiewać się na rozległych obszarach zwałowiska wewnętrznego (gdzie nie był sadzony). Celem tego artykułu jest ocena długodystansowego rozsiewu rokitnika na zwałowisku wewnętrznym KWB Bełchatów, ze szczególnym uwzględnieniem czynników wpływających na zagęszczenie kęp tego gatunku na badanym obszarze.

2. Teren badań

Badania prowadzono w 2008 roku na wschodniej części zwałowiska wewnętrznego KBW Bełchatów (51°13'50"N; 19°22'15"E). Już od 1989 roku w obrębie wyrobiska pola Bełchatów zaczęto deponować nadkład wydobyty z łóża

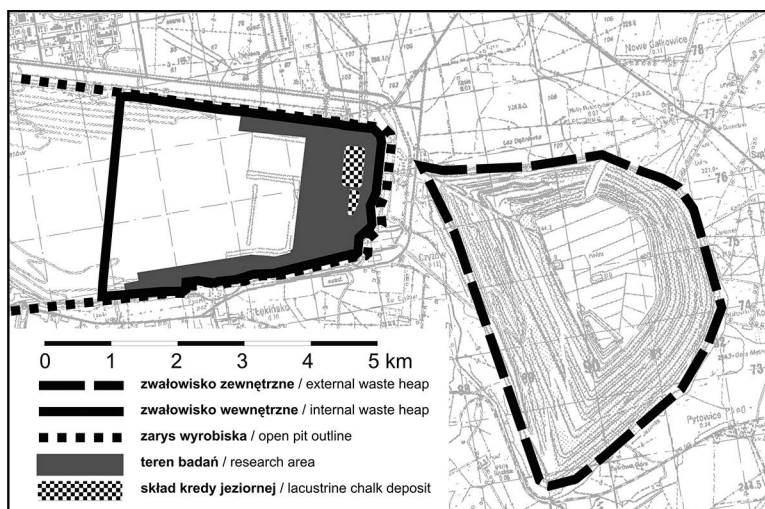
węgla brunatnego. Końcowy kształt nadziemnej części zwałowiska wewnętrznego zaczęto sukcesywnie formować od strony wschodniej od 1994 roku (Krzaklewski 2000). Wtedy na zwałowisku zaczęły się pojawiać tereny do kolonizacji rokitnika, które nie były narażone na dalsze przekształcenia rzeźby. Nadkład tworzy nadpoziomą bryłę zwałowiska górującą nad przyległymi terenami na wysokość ok. 40–50 m. Zbocza mają nachylenie 1:4 i są poprzedzielane półkami i tarasami komunikacyjnymi. Na powierzchni zwałowiska występują utwory piaszczyste o zmiennym udziale frakcji ilastych i pylastych oraz utwory gliniaste o składzie granulometrycznym od piasku luźnego i słabogliniastego przez piasek gliniasty lekki do gliny lekkiej (Krzaklewski 2000). Cechy tych utworów sugerują, że na zwałowisku będą w przyszłości dominowały siedliska słabej jakości (bór świeży i bór mieszany świeży).

3. Metodyka badań

Prace terenowe prowadzono na uformowanej części zwałowiska wewnętrznego nieobjętej zakazem wstępu w 2008 roku (zaznaczone na rycinie 1 na szaro), obejmującej obszar 223,75 ha. Badaniami nie objęto składowiska kredy jeziornej znajdującego się na wierzcholinie obiektu. W trakcie prac wyszukiwano kępy rokitnika i rejestrowano ich położenie w terenie oraz ich średnicę.

Wykorzystując udostępnione przez administrację kopalni materiały kartograficzne, określono udział powierzchniowy charakterystycznych fragmentów zwałowiska w obrębie terenu badań (tab. 1). Na podstawie mapy lokalizacji odkrywek glebowych i wyróżnionych gatunków gleb (Krzaklewski et al. 2000) oszacowano frekwencję różnego rodzaju utworów glebowych znajdujących się we wschodniej zalesionej części wierzchołki zwałowiska wewnętrznego. Na podstawie tej mapy każdej zlokalizowanej na tym obszarze kępie rokitnika przypisano odpowiedni rodzaj utworu glebowego, biorąc pod uwagę opis najbliższej odkrywki glebowej.

W celu określenia preferencji rokitnika w stosunku do dostępnych warunków siedliskowych użyto wskaźnika selektywności Ivleva E_i (1961):



Rycina 1. Lokalizacja terenu badań
Figure 1. Localization of research area

Tabela 1. Udział powierzchniowy różnych fragmentów badanego terenu

Table. 1. Surface share of different fragments of research area

Kod Code	Opis fragmentu Fragment description	Powierzchnia Area [ha]	Udział Share [%]
D	drogi – powierzchnia szlaków komunikacyjnych wraz z pobocznymi roads with berms	8,96	4
T	tereny otwarte fragmenty zboczy i wierzchowiny nieobjęte zalesianiem oraz tereny u podnóża zwałowiska open non-afforested areas	22,37	10
O	pole osadowe u podnóża zwałowiska sediment fields	8,95	4
P	piaskowniki – zbiorniki osadowe, wchodzących w skład systemu odwodnienia zwałowiska setting ponds	2,24	1
R	rów – obejmuje rowy i skarpy rowów ditches	8,94	4
Z	zalesienie – oznacza teren zwałowiska zalesiony do 2008 r. areas afforested until 2008	161,10	72
W	wał okalający zwałowisko, odgraniczający teren pola osadowego od sąsiadujących obszarów embankments	11,19	5
	cała powierzchnia objęta badaniami total area	223,75	100

$$E_i = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i},$$

gdzie:

r_i – wykorzystanie danego siedliska i (np. udział kęp rokitnika, które zaobserwowano w rowach w stosunku do całkowitej liczby obserwowanych kęp),

p_i – udział siedliska i w środowisku (np. udział powierzchni rowów w całkowitej powierzchni terenu badań).

Wskaźnik E_i osiąga wartości od -1 (całkowite unikanie danego siedliska), przez 0 (dane siedlisko jest wykorzystywane proporcjonalnie do jego dostępności), aż do 1 (przy bardzo częstym wykorzystaniu danego siedliska).

Równoległe do obliczania wskaźnika E_i przetestowano hipotezę o losowości wykorzystania poszczególnych siedlisk przez rokitnika z zastosowaniem testu *chi*-kwadrat. W przypadku odrzucenia hipotezy o losowym wykorzystywaniu siedlisk użyto statystyki z Bonferroni, aby obliczyć przedziały ufności potrzebne do wskazania siedlisk wybieranych częściej lub rzadziej niż można by oczekiwać w przypadku losowego wyboru (Neu et al. 1974).

4. Wyniki

Na badanym terenie wykryto 306 kęp rokitnika (średnie zagęszczenie 1,37 kępy/ha). Odnalezione kępy rokitnika były zróżnicowane pod względem wielkości, a starsze osobniki żeńskie owocowały. Najdalej położona od zwałowiska ze-

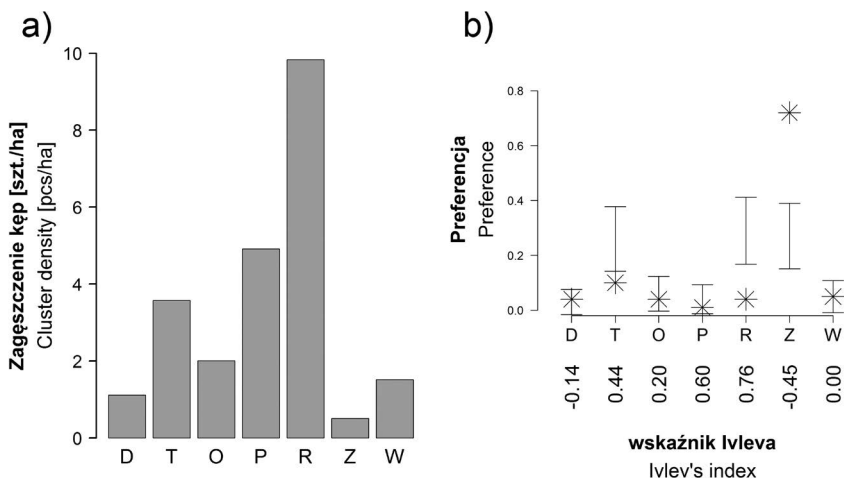
wnętrznego kępa, której rozmiary sugerowały, że powstała z pierwotnego obsiewu z populacji ze zwałowiska zewnętrznego, znajdowała się w odległości 3,6 km od podstawy i 6 km od centrum tego zwałowiska. Zagęszczenie kęp obserwowanych na charakterystycznych fragmentach zwałowiska przedstawiono na rycinie 2a. Największe zagęszczenie kęp rokitnika obserwowano we fragmentach zwałowiska związanych z systemem odwadniania (rowy i piaskowniki) oraz na terenach otwartych, najmniejsze zaś na terenach zalesionych. Występowanie rokitnika na terenach należących do poszczególnych kategorii nie było losowe (ryc. 2b), kępy częściej niż losowo pojawiały się w pobliżu rowów i na terenach otwartych, natomiast w sposób istotny statystycznie unikały terenów zalesionych. Z wynikami analizy statystycznej korespondują wartości wskaźnika Ivleva. Według tego kryterium najbardziej preferowanym środowiskiem są rowy ($E=0,76$) i tereny otwarte ($E=0,44$), natomiast najbardziej unikany są tereny zalesione ($E=-0,45$). Wysoką dodatnią wartość miał wskaźnik Ivleva dla piaskowników ($E=0,60$), ale ta preferencja nie została potwierdzona statystycznie. Analiza występowania rokitnika na zalesionych obszarach wierzchowiny zwałowiska wewnętrznego (ryc. 3a) wykazała na terenach o potencjalnie najuboższych utworach glebowych (PL – piaski luźne i PLP – piaski luźne pylaste) najmniejsze zagęszczenie kęp tego gatunku (około 0,2 szt./ha), dwukrotnie mniejsze niż na utworach żyzniejszych (PSG – piaski słabogliniaste, PGL – piaski gliniaste lekkie). Test *chi*-kwadrat potwierdził znikome prawdopodobieństwo losowego wystąpienia takich

różnic w zagęszczeniu kęp na potencjalnie najuboższych siedliskach (ryc. 3b). Również ujemne wartości wskaźnika Ivleva wskazują na unikanie najsłabszych utworów przez rokitnika. Przeprowadzone porównanie zagęszczenia kęp na zboczach zwałowiska o różnych wystawach (z wyłączeniem terenów zalesionych, ponieważ zalesienie może modyfikować wpływ wystawy) nie wykazało istotnych różnic. Wskaźnik Ivleva miał dla porównywanych obszarów wartości zbliżone do 0 (wystawa E= -0,02, N=-0,12, S=0,06), co świadczy o braku wyraźnej preferencji rokitnika w stosunku do wystawy. Również testowanie losowości w zajmowaniu terenów o różnej wystawie nie potwierdziło statystycznej istotności różnic pomiędzy nimi. Na badanym obszarze zaobserwowano zróżnicowane zagęszczenia kęp rokitnika w zalesieniach

powstałych w różnych latach (ryc. 4), jednak nie obserwowano wzrostu zagęszczenia kęp związanego ze wzrastającym wiekiem zalesienia. Zaobserwowano natomiast tendencję do wzrostu liczby odnalezionych kęp wraz ze spadkiem rozmiarów kępy (ryc. 5).

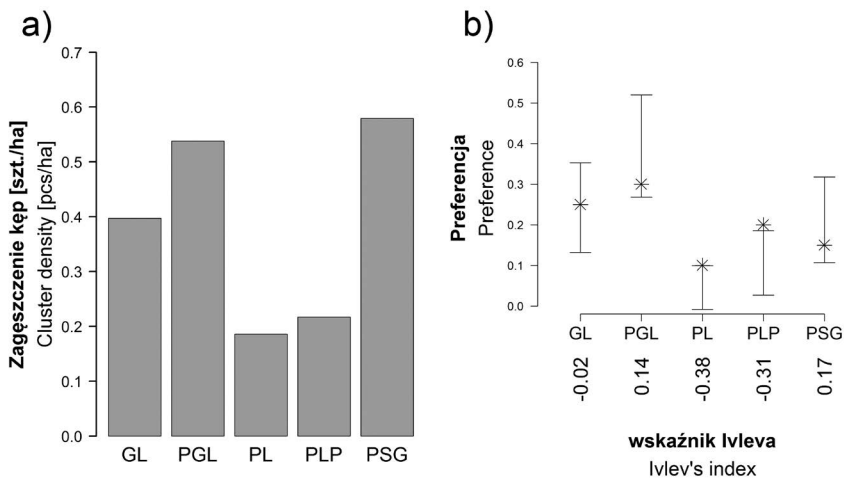
5. Dyskusja

Rozległe rekultywowane tereny stwarzają unikalną możliwość badania procesów związanych z niejednorodnością krajobrazu, zachodzących w dużych skalach przestrzennych (Bell et al. 1997). Odległość zwałowiska wewnętrznego od pierwotnego źródła nasion (ryc. 1), jak też duże zróżnicowanie siedlisk związane z procesem rekultywacji (tab. 1) po-



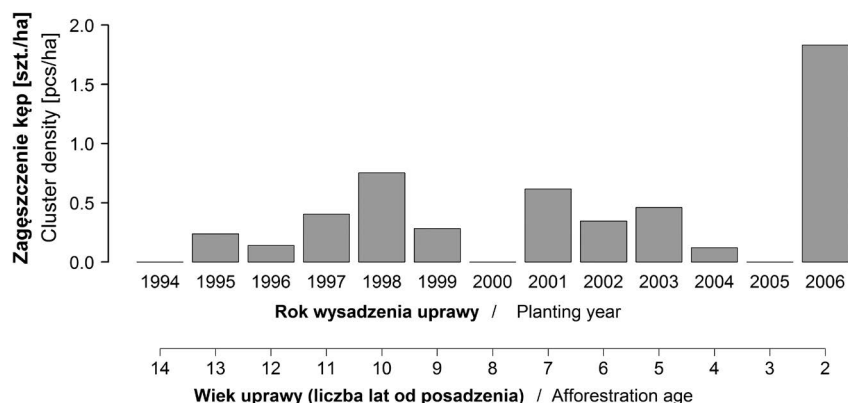
Rycina 2. Zagęszczenie kęp rokitnika na różnych fragmentach zwałowiska wewnętrznego (opisy jak w tab. 1) oraz ocena preferencji tego gatunku wobec analizowanych fragmentów zwałowiska (test losowości zasiedlania i wskaźniki Ivleva)

Figure 2. Density of sea-buckthorn clusters detected on different parts of internal dumping ground (descriptions as in tab. 1) and assessment of sea-buckthorn preferences to particular areas (test for non-random use of habitats and Ivlev's index)



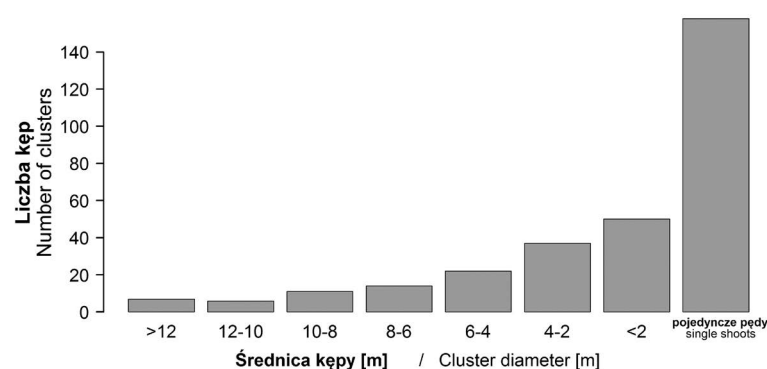
Rycina 3. Zagęszczenie kęp rokitnika na zalesionym wschodnim fragmencie wierzchowiny na różnych utworach glebowych (GL – gliny lekkie, PGL – piaski gliniaste lekkie, PL – piaski luźne, PLP – piaski luźne pylaste, PSG – piaski słabogliniaste) oraz ocena preferencji tego gatunku względem analizowanych utworów glebowych (test losowości zasiedlania i wskaźniki Ivleva)

Figure 3. Density of sea-buckthorn clusters detected on afforested eastern part heap hilltop on different soils (GL – sandy loams, PGL – loamy sand, PL – loose sand, PLP – sand with silt admixture, PSG – loamy sand with lesser clay content) and assessment of sea-buckthorn preferences to detected soils (test for non-random use of habitats and Ivlev's index)



Rycina 4. Zagęszczenie kęp rokitnika obserwowane w zalesieniach w różnym wieku

Figure 4. Density of sea-buckthorn clusters observed in afforestation of different age



Rycina 5. Liczba kęp rokitnika w poszczególnych klasach wielkości

Figure 5. Numbers of sea-buckthorn clusters in different size classes

zwolili na zbadanie wybranych czynników warunkujących sukces długodystansowego obsiewu rokitnika. Na podkreślenie zasługuje fakt, że analizowany jest rozsiew na relatywnie duże odległości. Teren badań rozciąga się w odległości od 600 m do 4700 m, licząc od podstawy zwałowiska zewnętrznego. Bezpośrednie udokumentowanie długodystansowego rozsiewu nasion jest zazwyczaj bardzo trudne (Cain et al. 2000). Duża odległość od pierwotnego źródła nasion, jak też rozległość obszaru badań, w praktyce bardzo utrudniają stosowanie metodyki opartej na bezpośredniej obserwacji zwierząt roznoszących nasiona (Malmborg, Willson 1988; Alcántara et al. 2000), jak również w związku z małą gęstością obsiewu uniemożliwiają wnioskowanie na podstawie danych zebranych z chwytaków nasion (Alcántara et al. 2000; Levey et al. 2008). W badaniach na zwałowisku wewnętrznym wybrano metodę „a posteriori” opartą na analizie występowania kęp rokitnika, które skolonizowały teren (Hewitt, Kellman 2002). Ocena rozsiewu długodystansowego na podstawie stwierdzonych przypadków występowania kolonistów jest jedną z głównych metod badania tego zjawiska (Nathan et al. 2003) i często stosowaną w tego typu pracach (Dzwonko, Loster 1992; Matlack 1994; Brunet, Von Oheimb 1998). Ocena rozsiewu na podstawie występowania odnowień może być obciążona pewnym błędem na skutek działania różnych filtrów ekologicznych wpływających na przeżywalność na-

sion i siewek (Kollmann 2000), jednakże dotarcie nasion do nowej lokalizacji jest podstawowym warunkiem kolonizacji i dlatego część badaczy przypisuje mu decydujące znaczenie (Robinson, Handel 1993). W badaniach nad obsiewem długodystansowym (Cain et al. 2000; Nathan et al. 2003) dużą wagę przykładają się do określenia empirycznego rozkładu obserwowanych odległości rozsiewu. Ze względu na rozproszenie populacji rokitnika na dużej powierzchni zwałowiska zewnętrznego (źródło) niemożliwe było obiektywne wskazanie punktu, od którego należałoby liczyć dystans. Z tego powodu analiza koncentrowała się bardziej na preferencji rokitnika w stosunku do zasiedlanych siedlisk niż na bezpośrednim określeniu odległości rozsiewu.

Żeńskie osobniki rokitnika zaczynają owocować już w 2.–3. roku życia (Pearson, Rogers 1962) i potencjalnie stosunkowo szybko mogą stać się na kolonizowanym terenie wtórnym źródłem nasion. Zdobywanie terenu poprzez rozsiew z najdalej wysuniętych osobników jest szybszym sposobem kolonizacji terenów niż rozsiew zachodzący przed główną linią frontu kolonizacji (Matlack 1994). Prawdopodobnie jednak początkowe niskie zagęszczenie kęp rokitnika na zwałowisku wewnętrznym utrudniało realizację tej strategii, ponieważ osobniki żeńskie aby owocować wymagają obecności w stosunkowo niedużej odległości osobników męskich. Jest to tak ważny czynnik ograniczający produkcję

nasion, że na plantacjach owocowych tego gatunku od 6 do 12% wysadzanych osobników jest płci męskiej (Li, Schroeder 1996). O takim ograniczeniu ekspansji mogą świadczyć dwie przesłanki. W trakcie badań terenowych stwierdzono tylko nieliczne przypadki występowania wokół starszych kęp żeńskich młodszych satelitarnych kęp, które mogłyby pochodzić z nasion wytworzonych już na zwałowisku wewnętrznym. Tymczasem takie sytuacje były relatywnie częstsze na zwałowisku zewnętrznym, gdzie w badaniach stwierdzono większe zagęszczenie kęp (Bolibok et al. 2009). Druga przesłanka związana jest z obserwowaną frekwencją kęp w różnych klasach wielkości (ryc. 5). Istnieje silny związek pomiędzy średnicą kępy rokitnika a jej wiekiem (Bolibok et al. 2009). Liczba kęp w czterech największych klasach wielkości (najstarszych) jest bardzo zbliżona, potem łagodnie zaczyna rosnąć i dopiero gwałtownie wzrasta w najmniejszej klasie wielkości (osobniki najmłodsze). Może to sugerować, że badania na zwałowisku wewnętrznym przeprowadzono w okresie rozpoczynającego się wzrostu znaczenia wtórnych źródeł nasion w kolonizacji tego terenu.

Opinia o dominującej roli ptaków w rozsiewie rokitnika jest przytaczana w wielu opisach ekologii tego gatunku (Pearson, Rogers 1962; Ranwell 1972; Lu et al. 2006). Z tego powodu interpretacja obserwowanego przestrzennego zróżnicowania zagęszczenia kęp rokitnika powinna być dokonywana przede wszystkim w nawiązaniu do opisywanych w literaturze zachowań ptaków odżywiających się owocami.

Średnie zagęszczenie kęp na zwałowisku wewnętrznym (1,37 szt./ha) kolonizowanym ze źródeł nasion położonych co najmniej 600 metrów od powierzchni badawczej było ponad dwukrotnie mniejsze niż zagęszczenie stwierdzone przez Boliboka i in. (2009) podczas badań na wierzchowinie zwałowiska zewnętrznego (3,2 szt./ha), która była kolonizowana prawdopodobnie głównie przez nasiona docierające z kęp położonych w odległości nie mniejszej niż 250 metrów. Ujemnie wykładniczy spadek zagęszczenia odnowień wraz ze wzrostem odległości od potencjalnego źródła nasion jest dobrze udokumentowany w publikacjach analizujących ornitochorię (Willson 1993; Alcántara et al. 2000), jednakże jest to tylko ogólny trend, a w praktyce zagęszczenie roznoszonych nasion może być dość zmienne w tej samej odległości od źródła nasion i silnie związane z przestrzennym zróżnicowaniem krajobrazu (Haas 1995; Kollmann, Schneider 1999) i roślinności (McDonnell, Stiles 1983; McDonnell 1986; Malmberg, Willson 1988). Zróżnicowanie zagęszczenia kęp rokitnika w różnych fragmentach zwałowiska wewnętrznego (ryc. 2) jest zgodne z takimi obserwacjami. Szczególnie duże zagęszczenie kęp rokitnika w rowach na zwałowisku koresponduje z danymi opisującymi wpływ rowów na przemieszczanie się ptaków w krajobrazie (Arnold 1983; MacDonald, Johnson 1995; Parish et al. 1995; Hinsley, Bellamy 2000). Duża część tych publikacji wskazuje na dodatni wpływ obecności rowów na „przyciągającą” rolę innych struktur (np. żywoplotów), ale niektóre publikacje wprost wskazują, że rowy (Arnold 1983) lub strumienie (Bartuszevige, Gorchov 2006) mogą

być atrakcyjniejszym miejscem przebywania ptaków niż otwarte (polne) przestrzenie.

Skrajnie niekorzystnym środowiskiem do kolonizacji rokitnika okazały się tereny zalesione, które w okresie badań znajdowały się na wczesnych etapach rozwoju (uprawy i młodniki). Obecność drzew lub innych wzniesionych przedmiotów przyciąga ptaki i zwiększa wokół nich opad nasion (McClanahan, Wolfe 1993; Robinson, Handel 1993, 2000), ponieważ ptaki preferują wyższe „grzędy” (McDonnell 1986; Robinson, Handel 1993; Kollmann 2000) i z reguły unikają zalesień znajdujących się na etapie uprawy. Również zalesienia w fazie młodnika, mimo że wyższe, są mało atrakcyjne dla ptaków owocożernych, które zwykle unikają zwartych fragmentów lasu i koncentrują się na jego brzegach lub w obrębie luk wewnątrz drzewostanów (Thompson, Willson 1978; Malmberg, Willson 1988).

Zmienność zagęszczenia kęp rokitnika w zalesieniach powstałych w różnych latach (ryc. 4) nie wskazuje, by z czasem przybywało w nich nowych kęp rokitnika. Wynik ten może sugerować, że teren zalesiony jest dostępny dla ekspansji generatywnej rokitnika tylko przez pewien, krótki okres na początku istnienia zalesienia. Związane jest to prawdopodobnie z dużą światłoządnością siewek tego gatunku, nietolerujących ocienienia (Pearson, Rogers 1962). Czynnikiem dostępności światła może odpowiadać za większe niż średnie, potwierdzone statystycznie, zagęszczenie kęp rokitnika na terenach otwartych (ryc. 2). W okresie badań występowała tam roślinność zielna o zróżnicowanym zagęszczeniu, ale zdecydowanie mniej bujna niż na polach osadowych, na których obserwowano mniejsze zagęszczenie kęp. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym kolonizację zalesień przez rozsiew może być duży udział w nich sosny. Kwaśna ściółka wytwarzana przez ten gatunek modyfikuje pH wierzchniej warstwy gleby w kierunku niekorzystnym dla rokitnika (Bolibok et al. 2008).

Porównanie zagęszczenia kęp rokitnika na zalesionych terenach zwałowiska, różniących się składem granulometrycznym podłoża (ryc. 3), wskazuje, że również inne czynniki niezwiązane z rozsiewem mają wpływ na sukces kolonizacji terenu przez rokitnika. Chociaż na terenach zalesionych średnie zagęszczenie kęp jest małe, to szczególnie niskie było na obszarach zalegania piasków luźnych i luźnych pylastych, utworów o potencjalnie najmniejszej żyzności i pojemności wodnej spośród utworów występujących na zalesionym terenie. Prawdopodobnie taki rodzaj podłoża stwarzał najmniej korzystne warunki do wzrostu siewek rokitnika.

Topografia terenu może potencjalnie wpływać na przebieg sukcesji na terenach zdegradowanych (McChesney et al. 1995; Bell et al. 1997; Wali 1999; Martínez-Ruiz, Marrs 2007). Wystawa zbocza potencjalnie może modyfikować warunki kiełkowania i wzrostu roślin w związku z różnicami w insolacji (Bolibok et al. 2015), istotnymi zwłaszcza w przypadku bardzo światłoządnego rokitnika (Li, Schroeder 1996). Mimo że w innych badaniach (Bolibok et al. 2009) stwierdzono, że rozrastające się kępy rokitnika modyfikują swoją architekturę w zależności od kierunku geograficznego,

to jednak obecne badania nie wykazały, aby wystawa zbożowa miała istotny wpływ na zagęszczenie kęp rokitnika.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Badania własne.

Literatura

- Alcántara J.M., Rey P.J., Valera F., Sánchez-Lafuente A.M. 2000. Factors shaping the seedfall pattern of a bird-dispersed plant. *Ecology* 81: 1937–1950. DOI 10.2307/177283.
- Arnold G.W. 1983. The influence of ditch and hedgerow structure, length of hedgerows, and area of woodland and garden on bird numbers on farmland. *Journal of Applied Ecology* 20: 731–750. DOI 10.2307/2403123.
- Bartuszevige A.M., Gorchov D.L. 2006. Avian Seed Dispersal of an Invasive Shrub. *Biological Invasions* 8: 1013–1022. DOI 10.1007/s10530-005-3634-2.
- Bell S.S., Fonseca M.S., Motten L.B. 1997. Linking restoration and landscape ecology. *Restoration Ecology* 5: 318–323. DOI 10.1046/j.1526-100X.1997.00545.x.
- Bolibok L., Brach M., Szeligowski H., Orzechowski M. 2015. Wpływ wysokości otaczającego drzewostanu, wystawy i pochylenia terenu na mikroklimat radiacyjny na gnieździe - wyniki modelowania. *Sylwan* 159: 813–823.
- Bolibok L., Kowalczyk M., Drozdowski S. 2009. Ocena wegetatywnej i generatywnej ekspansji rokitnika (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów pod kątem wykorzystania w procesie rekultywacji drogą sukcesji kierowanej. *Sylwan* 153: 203–216.
- Bolibok L., Kowalczyk M., Szeligowski H. 2008. The influence of substratum pH level on growth of sea buckthorn [*Hippophaë rhamnoides* L.] of the external spoil bank of the Bełchatow Brown Coal Mine. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 07: 5–12.
- Brunet J., Von Oheimb G. 1998. Migration of vascular plants to secondary woodlands in southern Sweden. *Journal of Ecology* 86: 429–438. DOI 10.1046/j.1365-2745.1998.00269.x.
- Cain M.L., Milligan B.G., Strand A.E. 2000. Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany* 87: 1217–1227. DOI 10.2307/2656714.
- Dzwonko Z., Loster S. 1992. Species richness and seed dispersal to secondary woods in southern Poland. *Journal of Biogeography* 19: 195–204. DOI 10.2307/2845505.
- Greszta J., Morawski S. 1972. Rekultywacja nieużytków przemysłowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 264 s.
- Haas C.A. 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on an agricultural landscape. *Conservation Biology* 9: 845–854. DOI 10.1046/j.1523-1739.1995.09040845.x.
- Hewitt N., Kellman M. 2002. Tree seed dispersal among forest fragments: I. Conifer plantations as seed traps. *Journal of Biogeography* 29: 337–349. DOI 10.1046/j.1365-2699.2002.00678.x/full.
- Hinsley S., Bellamy P. 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review. *Journal of Environmental Management* 60: 33–49. DOI 10.1006/jema.2000.0360.
- Ivlev V.S. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale University Press, New Haven.
- Kapuściński R. 1978. Rokitnik zwyczajny *Hippophaë rhamnoides* L. na polskim wybrzeżu Bałtyku. Cz. 1. Zasięg występowania i ogólna charakterystyka wymagań ekologicznych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych* 46.
- Kluczyński B. 1979. Suitability of selected tree and shrub species for the reclamation of ash wastes from power stations. *Arboretum Kórnickie* 24: 217–282.
- Kollmann J. 2000. Dispersal of fleshy-fruited species: a matter of spatial scale? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 3: 29–51. DOI 10.1078/1433-8319-00003.
- Kollmann J., Schneider B. 1999. Landscape structure and diversity of fleshy-fruited species at forest edges. *Plant Ecology* 144: 37–48. DOI 10.1023/A:1009880506495.
- Kornaś J. 1977. Zespoły wydm nadmorskich i śródlądowych, in: W. Szafer, K. Zarzycki (eds.), Szata Roślinna Polski. PWN, Warszawa, 297–309.
- Krzaklewski W. 1978. Wytyczne 1/78 biologicznej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Maszynopis archiwum Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH, Kraków.
- Krzaklewski W. 2000. Projekt techniczny rekultywacji szczegółowej wierzchowiny zwałowiska wewnętrznego. Geo-Lab Sp. z o.o., Kraków.
- Krzaklewski W., Wójcki J., Pająk M., Koziół K., Jabłoński M. 2000. Mapa lokalizacji odkrywek glebowych i wyróżnionych gatunków gleb. LBR Geo-Lab Sp. z o.o., Kraków.
- Levey D.J., Tewksbury J.J., Bolker B.M. 2008. Modelling long-distance seed dispersal in heterogeneous landscapes. *Journal of Ecology* 96: 599–608. DOI 10.1111/j.1365-2745.2008.01401.x.
- Li T.S., Schroeder W.R. 1996. Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.): a multipurpose plant. *HortTechnology* 6: 370–380.
- Lu X., Sun K., Ma R., Zhang H., Su X., Wang M. 2006. Fruits foraging patterns and seed dispersal effect of frugivorous birds on *Hippophaë rhamnoides sinensis*. *Frontiers of Biology in China* 1: 318–322. DOI 10.1007/s11515-006-0040-9.
- MacDonald D.W., Johnson P.J. 1995. The relationship between bird distribution and the botanical and structural characteristics of hedges. *Journal of Applied Ecology* 32: 492–505. DOI 10.2307/2404647.
- Malmberg P.K., Willson M.F. 1988. Foraging ecology of avian frugivores and some consequences for seed dispersal in an Illinois woodlot. *Condor*: 173–186. DOI 10.2307/1368446.
- Martínez-Ruiz C., Marrs R.H. 2007. Some factors affecting successional change on uranium mine wastes: insights for ecological restoration. *Applied Vegetation Science* 10: 333–342. DOI 10.1658/1402-2001(2007)10[333:SFASCO]2.0.CO;2.
- Matlack G.R. 1994. Plant species migration in a mixed-history forest landscape in Eastern North America. *Ecology* 75: 1491–1502. DOI 10.2307/1937472.
- McChesney C.J., Koch J.M., Bell D.T. 1995. Jarrah forest restoration in Western Australia: Canopy and Topographic Effects. *Restoration Ecology* 3: 105–110. DOI 10.1111/j.1526-100X.1995.tb00083.x.
- McClanahan T.R., Wolfe R.W. 1993. Accelerating forest succession in a fragmented landscape: the role of birds and perches. *Conservation Biology* 7: 279–288. DOI 10.1046/j.1523-1739.1993.07020279.x.

- McDonnell M.J. 1986. Old field vegetation height and the dispersal pattern of bird-disseminated woody plants. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 113: 6–11. DOI 10.2307/2996227.
- McDonnell M.J., Stiles E.W. 1983. The structural complexity of old field vegetation and the recruitment of bird-dispersed plant species. *Oecologia* 56: 109–116. DOI 10.1007/BF00378225.
- Nathan R., Perry G., Cronin J.T., Strand A.E., Cain M.L. 2003. Methods for estimating long-distance dispersal. *Oikos* 103: 261–273. DOI 10.1034/j.1600-0706.2003.12146.x.
- Neu C.W., Byers C.R., Peek J.M. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management* 38: 541–545. DOI 10.2307/3800887.
- Parish T., Lakhani K.H., Sparks T.H. 1995. Modelling the relationship between bird population variables and hedgerow, and other field margin attributes. II. Abundance of individual species and of groups of similar species. *Journal of Applied Ecology* 32, 362. DOI 10.2307/2405102.
- Pearson M.C., Rogers J.A. 1962. *Hippophaë rhamnoides* L. *Journal of Ecology* 501–513. DOI 10.2307/2257460.
- Ranwell D.S. 1972. The management of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) on selected sites in Great Britain. Norwich, Nature Conservancy, 55 pp.
- Robinson G.R., Handel S.N. 1993. Forest restoration on a closed land-fill: rapid addition of new species by bird dispersal. *Conservation Biology* 7: 271–278. DOI 10.1046/j.1523-1739.1993.07020271.x.
- Robinson G.R., Handel S.N. 2000. Directing spatial patterns of recruitment during an experimental urban woodland reclamation. *Ecological Applications* 10: 174–188. DOI 10.1890/1051-0761(2000)010[0174:DSPORD]2.0.CO;2.
- Surminski J. 2008. Występowanie i właściwości rokitnika zwyczajnego [*Hippophaë rhamnoides* L.]. *Sylvan* 152(4): 68–74.
- Thompson J.N., Willson M.F. 1978. Disturbance and the Dispersal of Fleshy Fruits. *Science* 200: 1161–1163. DOI 10.1126/science.200.4346.1161.
- Wali M.K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195–220. DOI 10.1023/A:1004475206351.
- Willson M.F. 1993. Dispersal mode, seed shadows, and colonization patterns. *Vegetatio* 107–108: 261–280. DOI 10.1007/BF00052229.
- Zalewska Z. 1955. Rokitnik zwyczajny (*Hippophaë rhamnoides* L.). *Rocznik Dendrologiczny* 10: 353–376.

Wkład autorów

LB, MK – koncepcja pracy i opracowanie metodyki, prace terenowe, opracowanie i analiza danych; LB, MK, SM – przegląd literatury, przygotowanie maszynopisu; LB, SM – redagowanie, korekta i koordynacja.

Assessment of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) long distance dispersal on the internal waste heap of the Belchatów lignite mine

Leszek Bolibok^{1*}, Monika Kubiak², Sebastian Michalski³

¹Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Forestry, Department of Forest Silviculture, ul. Nowoursynowska 159/34, 02–776 Warszawa, Poland; ²Radomsko Forest District, ul. Piłsudskiego 3, 97–500 Radomsko, Poland; ³Łochów Forest District, ul. Wyszowska 28, 07–130 Łochów, Poland

*Tel. +48 22 5938106, e-mail: leszek_bolibok@sggw.pl

Abstract. Long distance dispersal is a key process occurring in plant communities and is particularly important for pioneer species like sea-buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) which survival strongly depends on colonizing newly created post-disturbance habitats. Sea-buckthorn, a cluster-forming shrub, is commonly used in Poland in the reclamation of soil-less areas devastated by mining industry and for these areas a generative expansion of planted populations is usually observed. The main objective of this study was to assess the long-distance dispersal of this species in areas previously disturbed by industrial activity. Our observations were made on a 223.75 ha large section of the internal waste heap of the Belchatów lignite mine, Central Poland. The area was colonized by sea-buckthorn specimens originating from a population planted on the nearby external waste heap. During the search for newly established sea-buckthorn clusters, their position and size were recorded and the preferences for specific site conditions were assessed using the Ivlev's electivity index. New specimen were observed at distances between 600 m and 3600 m from their potential seed source. The mean cluster density was 1.37 ha⁻¹. The observed pattern of long distance dispersal is linked with to behavior of frugivorous birds. The largest cluster densities were observed along ditches (9.83 ha⁻¹) and on open areas with less developed plant cover, while the lowest cluster density occurred in afforested areas (0.51 ha⁻¹). Poor sandy substrate reduced the probability of plant establishment compared to richer loamy sands. There appeared to be no influence of slope aspect on the probability of sea-buckthorn establishment.

Keywords: long distance dispersal, sea-buckthorn, soil conditions, slope aspect

1. Introduction

Common sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) occurs naturally in Poland only along the shores of the Baltic Sea (Kapuściński 1978; Surminski 2008). It is most often found on the cliffs where sea waves washing the banks quite frequently result in the formation of landslides revealing soilless areas. Sea buckthorn effectively 'finds' and colonizes new areas as a result of generative expansion (mainly zoochoria). It is a typical pioneer species, which by its presence stabilizes the substrate, increases the availability of nitrogen in the emerging soil through its leaf litter and improves the growth conditions of other plants. Beech (*Fagus sylvatica* L.), sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) and other tree species of further succession stages are

often renewed in the thickets of sea buckthorn, overgrowing and eliminating it over time from the claimed habitat (Kornaś 1977). Its weakness in competition with late-successive species makes the survival of common sea buckthorn highly dependent on its ability to disperse to new, often distant areas. Long-distance expansion, an important aspect of the ecology of this species, has only been mentioned in the literature (Zalewska 1955; Pearson, Rogers 1962) and has rarely (Bolibok et al. 2009) been the subject of study.

Researching the long-distance dispersal of sea buckthorn on cliff landslides in natural habitats is difficult for methodological reasons. According to Levey et al. (2008), in the case of long-distance dispersal (over 150 m), the density of seeds reaching a unit of area decreases sharply with distance, with

Received: 17.10.2017, reviewed: 21.11.2017, accepted: 12.12.2017.

at most 1% of the total seed production dispersing over long distances (Cain et al. 2000). The relatively small area of landslides and the large dispersal distance result in the fact that a potentially scant percentage of seeds will reach such a location. This may be sufficient for the population of this species to function, but it is not enough to describe its expansion using quantitative methods.

The fact that sea buckthorn grows well in soilless areas has resulted in its use for many years in the reclamation of degraded areas (Greszta, Morawski 1972; Kluczyński 1979), where it is easily spread generatively (Bolibok et al. 2009). The expansiveness of sea buckthorn can cause serious economic problems. In some regions of Poland, for example, in the Olkusz Forest District, the sea buckthorn introduced for reclamation purposes is spreading in afforested areas, constituting serious competition for the intentionally renewed species. In the Bełchatów Forest District, clusters of sea buckthorn are overgrowing and blocking several forest roads within an external waste heap. Understanding the potential and determinants of sea buckthorn expansion may have practical implications for forest management in regions where the introduction of this species is planned.

Using the open-pit method to mine lignite in Poland creates very extensive soilless areas, devoid of vegetation. The very large spatial scale of these areas increases the possibility of finding a large enough number of new sea buckthorn individuals so that conclusions can be drawn about the mechanisms of its expansion. Common sea buckthorn was introduced artificially on an external heap to stabilize the accumulated waste material at the Bełchatów Mine (Krzaklewski 1978). The sea buckthorn population established there is a strong, concentrated (at the scale of the landscape) primary source of seeds, from which it began to spontaneously spread over vast areas of the internal waste heap (where

it was not intentionally planted). The aim of this article is to assess the long-distance dispersal of common sea buckthorn on the internal waste heap of the Bełchatów Mine, with particular emphasis on the factors affecting the density of the clusters of this species in the studied area.

2. Study area

The research was carried out in 2008 on the eastern part of an internal waste heap of the Bełchatów Mine (51°13'50"N; 19°22'15"E). As of 1989, the overburden seams began to be deposited in the exploited out part of the excavation of Bełchatów lignite field. The final shape of the above-ground part of the internal dump was gradually formed from the eastern side as of 1994 (Krzaklewski 2000). It was then that the areas became available for colonization by common sea buckthorn, as they were no longer to be disturbed by further formation work. The internal heap made of overburden material forms a hill towering 40–50 m above the adjacent area. The heap slopes have an inclination of 1:4 and are interrupted by horizontal shelves and transportation terraces. The surface of the dump is covered with sands with variable admixture clay and silt fractions and by loams with a granulometric composition from loose and weakly loamy sands through loamy sands to sandy loam (Krzaklewski 2000). The features of these materials suggest that poor quality habitats (suitable for less demanding coniferous and mixed coniferous forests) will prevail there in the future.

3. Study methods

Field work was conducted in the finished part of the internal waste heap, where access was not prohibited in 2008 (marked in Figure 1 in grey), covering an area of 223.75 ha. The study did not include the lacustrine chalk heap loca-

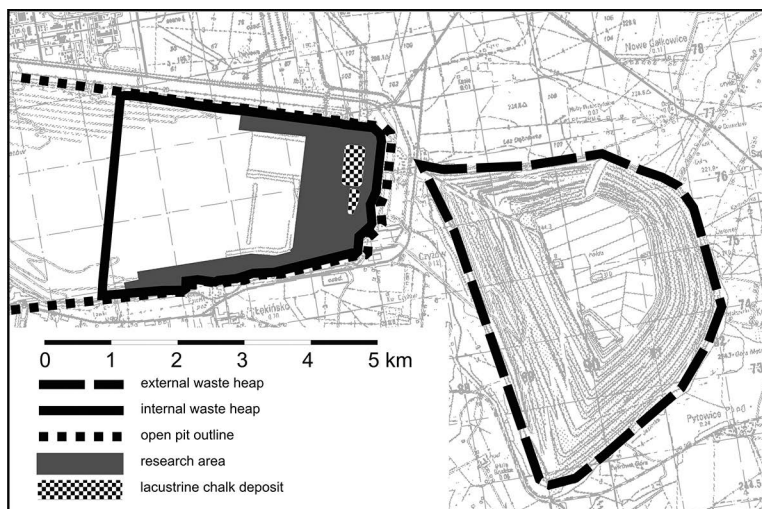


Figure 1. Localization of research area

Table 1. Surface share of different fragments of research area

Code	Fragment description	Area [ha]	Share [%]
D	roads with berms	8.96	4
T	open non-afforested areas	22.37	10
O	sediment fields	8.95	4
P	setting ponds	2.24	1
R	ditches	8.94	4
Z	areas afforested until 2008	161.10	72
W	embankments	11.19	5
	total area	223.75	100

ted on the object's uppermost area. During the field work, clusters of common sea buckthorn were searched and their location in the field and their diameter was recorded.

Using the cartographic materials provided by the mine administration, the proportion of characteristic fragments of the waste heap within the study site were determined (Table 1). Based on a map of the location of soil pits and distinguished soil types (Krzaklewski et al. 2000), the frequency of the occurrence of various soil types found in the eastern wooded part of the internal waste heap were estimated. On the basis of this map, each location of sea buckthorn in this area was assigned to the appropriate type of soil, taking into account the description of the nearest soil pit.

In order to determine the preferences of sea buckthorn in relation to the available habitat conditions, we used Ivlev's electivity index E_i (1961):

$$E_i = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i},$$

where:

r_i – the use of a given habitat i (e.g., the share of sea buckthorn clusters observed in ditches in relation to the total number of observed clusters),

p_i – share of habitat i in the environment (e.g., share of ditch area in the total area of the study site).

The E_i index has values from -1 (total avoidance of a given habitat), through 0 (a given habitat is used proportionally to its availability), up to 1 (very frequent use of a given habitat).

Parallely to E_i index calculation, the hypothesis about the randomness of the use of individual habitats by the sea buckthorn was tested with the use of chi-squared test.

When the hypothesis of random habitat use was rejected, we used the Bonferroni correction to calculate the confidence intervals needed to indicate that habitats were selected more often or less often than would be expected in the case of random selection (Neu et al. 1974).

4. Results

306 common sea buckthorn clusters were found in the study site (average density of 1.37 clusters/ha). The found clusters of sea buckthorn were diversified in size, and the older female plants bore fruit. The farthest cluster from the external waste heap, the size of which suggests that it originated from seeds coming from the population established on external heap, was located 3.6 km from the base and 6 km from the centre of this heap. The density of clusters observed on characteristic fragments of the waste heap is shown in Figure 2a. The highest density of common sea buckthorn clusters was observed in the parts of the heap relating to the drainage system (ditches and setting ponds as well as in open areas, while the smallest densities were found in the forested areas. The occurrence of common sea buckthorn in particular categories of areas was not random (Figure 2b). Clusters appeared more often than randomly in the vicinity of ditches and open areas, but their avoidance of forested areas was statistically significant. The values of the Ivlev index correspond with the results of the statistical analysis. According to this criterion, ditches ($E = 0.76$) and open areas ($E = 0.44$) are the most preferred habitats, while wooded areas are most avoided ($E = -0.45$). The Ivlev index gave a high positive value for setting ponds ($E = 0.60$), but this preference was not confirmed statistically. Analysis of the occurrence of common sea buckthorn in the forested areas of the internal waste heap (Figure 3a) showed that the areas with the potentially poorest soil deposits (PL – loose sands and PLP – sand with silt admixture) had the smallest density of clusters (about 0.2 specimens/ha), two times smaller than the density on more fertile soils (PSG – loamy sand with lesser clay content, PGL – loamy sand). The chi-squared test confirmed a negligible probability of the random occurrence of such differences in the density of clusters in the potentially poorest habitats (Figure 3b). Also, the negative valu-

es of the Ivlev index indicate the common sea buckthorn's avoidance of the areas with the poorest soils. No significant differences were found when comparing the density of clusters on the various exposures of the waste heap slopes (excluding the wooded areas, because afforestation can modify the impact of the exposure). The Ivlev index showed values close to 0 (exposures of $E = -0.02$, $N = -0.12$, $S = 0.06$) for the compared areas, which indicates the common sea buckthorn's lack of a clear preference to exposure. Also, testing the randomness of the shrub's presence in areas with different exposures did not confirm the statistical significance of the differences between them. Different density of common sea buckthorn clusters in the afforestation established in dif-

ferent years were observed in the studied area (Figure 4), but there was no increase in the density of the clusters associated with the growing age of the afforestation. However, we observed a trend of an increased number of clusters along with a decreased size of the cluster (Figure 5).

5. Discussion

Extensive areas of reclaimed land provide a unique opportunity to study the processes relating to landscape heterogeneity occurring at large spatial scales (Bell et al. 1997). The distance of the internal waste heap from the original source of seeds (Figure 1), as well as the large diversity of habitats

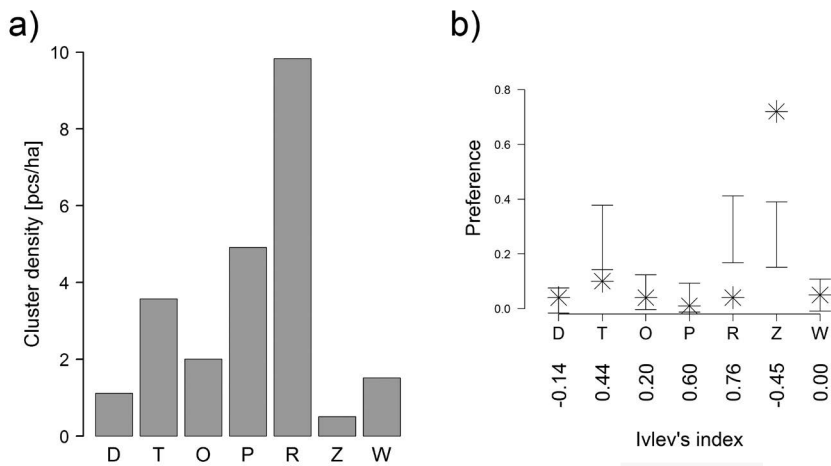


Figure 2. Density of sea-buckthorn clusters detected on different parts of internal dumping ground (descriptions as in tab. 1) and assessment of sea-buckthorn preferences to particular areas (test for non-random use of habitats and Ivlev's index)

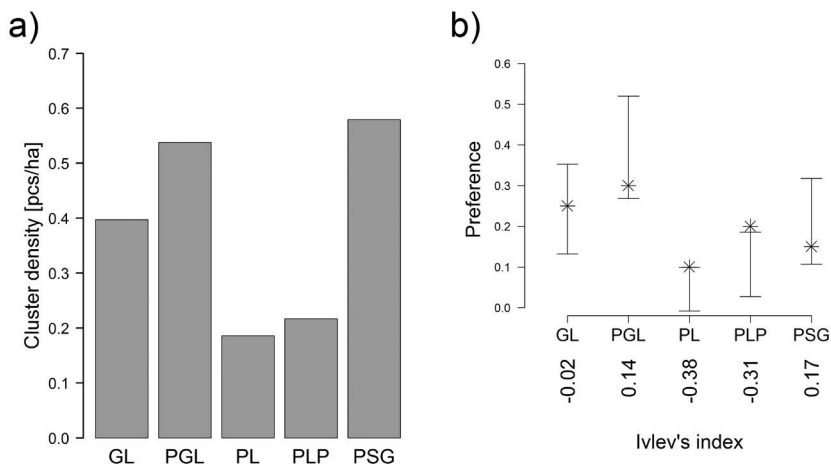


Figure 3. Density of sea-buckthorn clusters detected on afforested eastern part heap hilltop on different soils (GL – sandy loams, PGL – loamy sand, PL – loose sand, PLP – sand with silt admixture, PSG – loamy sand with lesser clay content) and assessment of sea-buckthorn preferences to detected soils (test for non-random use of habitats and Ivlev's index)

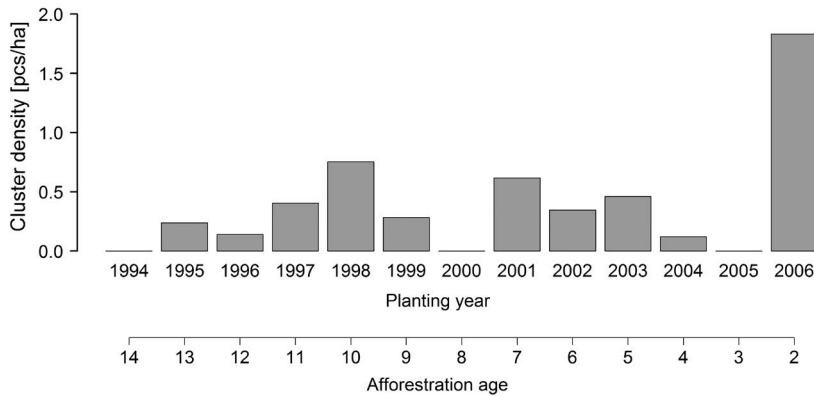


Figure 4. Density of sea-buckthorn clusters observed in afforestation of different age

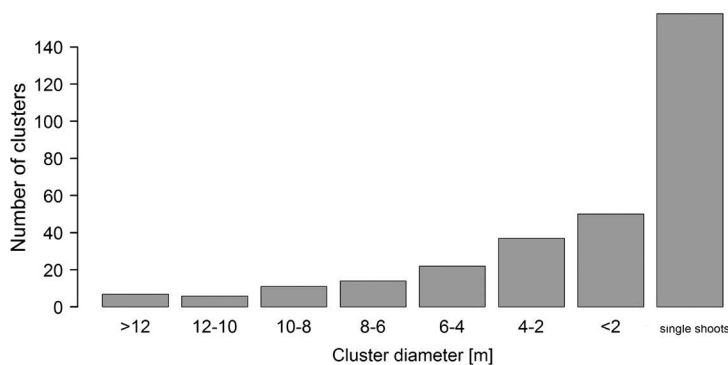


Figure 5. Numbers of sea-buckthorn clusters in different size classes

associated with the reclamation process (Table 1) allowed us to study the selected factors determining the success of long-distance dispersal of common sea buckthorn seeds. It is worth emphasizing that seed dispersal over relatively large distances was analysed. The study area extends from 600 m to 4700 m from the base of the external waste heap. Directly documenting long-distance seed dispersal is usually very difficult (Cain et al. 2000). The long distance from the original seed source and the size of the study site makes it very difficult to practically use methods based on the direct observation of seed-dispersing animals (Malmborg, Willson 1988; Alcántara et al. 2000); the low density of actual seed fall makes it impossible to draw conclusions based on the data collected from seed traps (Alcántara et al. 2000; Levey et al. 2008). In the study of the internal waste heap, the ‘a posteriori’ method was selected based on the analysis of the occurrence of common sea buckthorn clusters that colonized the area (Hewitt, Kellman 2002). Assessment of long-distance dispersal on the basis of the reported cases of colonists is one of the main methods of studying this phenomenon (Nathan et al. 2003) and often used in this type of

work (Dzwonko, Loster 1992; Matlack 1994; Brunet, Von Oheimb 1998). Assessing dispersal based on the occurrence of newly settled specimens may be burdened with a certain error due to various environmental filters affecting the survival of seeds and seedlings (Kollmann 2000). However, reaching a new location is a basic condition for colonization and this is why some researchers attribute it with decisive importance (Robinson, Handel 1993). In long-distance seed dispersal studies (Cain et al. 2000; Nathan et al. 2003), great importance is attached to determining the empirical distribution of the observed dispersal distances. Due to the spread of the common sea buckthorn population over a large area of the external waste heap (source), it was impossible to indicate objectively the point from which the distance should be calculated. For this reason, the analysis focused more on the preference of sea buckthorn in relation to the habitats it settled in than on directly determining the dispersal distance.

Female specimens of common sea buckthorns begin to bear fruit in their 2–3 year of life (Pearson, Rogers 1962) and potentially can become a secondary source of seeds relatively quickly in the colonized area. Spreading over the

land by dispersing seeds from the farthest-out individuals is a faster way to colonize an area than by seed dispersal from the main line of the colonization front (Matlack 1994). Probably, however, the initial low concentration of sea buckthorn clusters on the internal waste heap made it difficult to use this strategy because the female specimens must be relatively close to the males to bear fruit. This is such an important factor limiting the production of seeds that in sea buckthorn orchards from 6 to 12% of planted specimens are males (Li, Schroeder 1996). Two premisses may provide evidence for such a limitation of expansion. During the field studies, very few cases of younger satellite clusters were found around the older female clusters that could have originated from seeds already produced on the internal waste heap. Meanwhile, such situations occurred relatively more frequently on the external waste heap, where we found a greater density of clusters (Bolibok et al. 2009). The second premise is related to the observed frequency of clusters of various size classes (Figure 5). There is a strong relationship between the diameter of the sea buckthorn cluster and its age (Bolibok et al. 2009). The number of clusters in the four largest size classes (the oldest) is very similar, then the numbers gradually begin to increase and only rapidly increase in the smallest size class (the youngest). This may suggest that the research on the internal waste heap was conducted at the beginning of the period when the importance of secondary seed sources in the colonization of this area was starting to increase.

The opinion on the dominant role of birds in common sea buckthorn dispersal is mentioned in many descriptions of the ecology of this species (Pearson, Rogers 1962; Ranwell 1972; Lu et al. 2006). For this reason, the interpretation of the observed spatial variation in the density of sea buckthorn clusters should be made primarily in reference to the behaviour of birds feeding on its fruits, as described in the literature. The average density of clusters on the internal waste heap (1.37 specimens/ha) colonized from seed sources located at least 600 meters from the study site was more than two times smaller than the density found by Bolibok et al. (2009) during research on the external waste heap (3.2 specimens/ha), which was probably colonized mainly by seeds originating from clusters located at a distance of not less than 250 meters. The negatively exponential decline in the density of renewals with increasing distance from a potential source of seeds is well documented in publications analysing ornithochromia (Willson 1993; Alcántara et al. 2000). However, this is only a general trend, and in practice, the density of dispersed seeds may be quite variable at the same distances away from the seed source and strongly related to the spatial differentiation of the landscape (Haas 1995; Kollmann, Schneider 1999) and vegetation (McDonnell, Stiles 1983; McDonnell 1986; Malmborg, Willson 1988). Diversity in the density of common sea buckthorn in various parts of the

internal waste heap (Figure 2) is consistent with such observations. The particularly high density of sea buckthorns in the ditches on the heap corresponds with the data describing the impact of ditches on the movement of birds in the landscape (Arnold 1983; MacDonald, Johnson 1995; Parish et al. 1995; Hinsley, Bellamy 2000). A large number of these publications indicate the positive impact of ditches on its 'attracting' role to other structures (e.g., hedges), but some publications directly indicate that ditches (Arnold 1983) or streams (Bartuszevige, Gorchov 2006) may be a more attractive place for birds than open (field) spaces.

Afforested areas, which were at the early stages of development (seedlings and young trees) during the study period, were found to be extremely unfavourable habitats for the colonization of common sea buckthorn. The presence of trees or other raised objects attracts birds and increases the seed fall around them (McClanahan, Wolfe 1993; Robinson, Handel 1993, 2000), because birds prefer higher 'perches' (McDonnell 1986; Robinson, Handel 1993; Kollmann 2000) and usually avoid a few years old afforested areas. Also, afforestation in the thicket phase, although higher, is not very attractive for fruit-eating birds, which usually avoid dense forest fragments and concentrate on its edges or in the vicinity of gaps within the tree stands (Thompson, Willson 1978, Malmborg, Willson 1988).

The variability of the density of common sea buckthorn clusters in afforestation established in various years (Figure 4) does not indicate that with time, new clusters of sea buckthorn would begin growing in them. This may suggest that a forested area may be available for generative sea buckthorn growth only for a short period of time at the beginning of afforestation. This probably relates to the high demand of this species for light and its intolerance of shade (Pearson, Rogers 1962). The factor of light availability may be responsible for the higher than average, statistically confirmed density of common sea buckthorn clusters in open areas (Figure 2). In the study period, herbaceous vegetation of various densities occurred there, but it was definitely less abundant than in the sediment fields, where smaller densities of clusters were observed. An additional factor limiting the colonization in the afforestation by seed dispersal may be their large proportion of pine. The acid litter produced by this species modifies the pH of the topsoil in an unfavourable direction for the common sea buckthorn (Bolibok et al. 2008).

The comparison of the density of common sea buckthorn clusters in the afforested waste heap areas differing in the granulometric distribution of the substrate (Figure 3) indicates that other factors not related to seed dispersal influence the success of common sea buckthorn colonization. Although the average density of the clusters is small in the forested areas, it was particularly low in areas of loose and loose silty sands, soils with potentially the lowest fertility and water

retention capacity among those found in the wooded area. Probably this type of substrate had the least favourable conditions for the growth of common sea buckthorn seedlings.

The topography of the area can potentially influence the course of succession in degraded areas (McChesney et al 1995; Bell et al. 1997; Wali 1999; Martínez-Ruiz, Marrs 2007). The slope exposure can potentially modify the conditions for germination and plant growth due to differences in insolation (Bolibok et al. 2015), which is particularly important in the case of very light-demanding common sea buckthorn (Li, Schroeder 1996). Although other studies (Bolibok et al. 2009) found that growing clusters of common sea buckthorn modify their structure depending on geographical direction, the current study did not find that waste heap slope exposure had a significant impact on their density.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts of interest.

Acknowledgment and source of funding

The authors' own research.

References

- Alcántara J.M., Rey P.J., Valera F., Sánchez-Lafuente A.M. 2000. Factors shaping the seedfall pattern of a bird-dispersed plant. *Ecology* 81: 1937–1950. DOI 10.2307/177283.
- Arnold G.W. 1983. The influence of ditch and hedgerow structure, length of hedgerows, and area of woodland and garden on bird numbers on farmland. *Journal of Applied Ecology* 20: 731–750. DOI 10.2307/2403123.
- Bartuszevige A.M., Gorchov D.L. 2006. Avian Seed Dispersal of an Invasive Shrub. *Biological Invasions* 8: 1013–1022. DOI 10.1007/s10530-005-3634-2.
- Bell S.S., Fonseca M.S., Motten L.B. 1997. Linking restoration and landscape ecology. *Restoration Ecology* 5: 318–323. DOI 10.1046/j.1526-100X.1997.00545.x.
- Bolibok L., Brach M., Szeligowski H., Orzechowski M. 2015. Wpływ wysokości otaczającego drzewostanu, wystawy i pochylenia terenu na mikroklimat radiacyjny na gnieździe - wyniki modelowania. *Sylvan* 159: 813–823.
- Bolibok L., Kowalczyk M., Drozdowski S. 2009. Ocena wegetatywnej i generatywnej ekspansji rokitnika (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów pod kątem wykorzystania w procesie rekultywacji drogą sukcesyjną kierowanej. *Sylvan* 153: 203–216.
- Bolibok L., Kowalczyk M., Szeligowski H. 2008. The influence of substratum pH level on growth of sea buckthorn [*Hippophaë rhamnoides* L.] of the external spoil bank of the Bełchatow Brown Coal Mine. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 07: 5–12.
- Brunet J., Von Oheimb G. 1998. Migration of vascular plants to secondary woodlands in southern Sweden. *Journal of Ecology* 86: 429–438. DOI 10.1046/j.1365-2745.1998.00269.x.
- Cain M.L., Milligan B.G., Strand A.E. 2000. Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany* 87: 1217–1227. DOI 10.2307/2656714.
- Dzwonko Z., Loster S. 1992. Species richness and seed dispersal to secondary woods in southern Poland. *Journal of Biogeography* 19: 195–204. DOI 10.2307/2845505.
- Greszta J., Morawski S. 1972. Rekultywacja nieużytków przemysłowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 264 s.
- Haas C.A. 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on an agricultural landscape. *Conservation Biology* 9: 845–854. DOI 10.1046/j.1523-1739.1995.09040845.x.
- Hewitt N., Kellman M. 2002. Tree seed dispersal among forest fragments: I. Conifer plantations as seed traps. *Journal of Biogeography* 29: 337–349. DOI 10.1046/j.1365-2699.2002.00678.x/full.
- Hinsley S., Bellamy P. 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review. *Journal of Environmental Management* 60: 33–49. DOI 10.1006/jema.2000.0360.
- Ivlev V.S. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale University Press, New Haven.
- Kapuściński R. 1978. Rokitnik zwyczajny *Hippophaë rhamnoides* L. na polskim wybrzeżu Bałtyku. Cz. 1. Zasięg występowania i ogólna charakterystyka wymagań ekologicznych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych* 46.
- Kluczyński B. 1979. Suitability of selected tree and shrub species for the reclamation of ash wastes from power stations. *Arboretum Kórnickie* 24: 217–282.
- Kollmann J. 2000. Dispersal of fleshy-fruited species: a matter of spatial scale? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 3: 29–51. DOI 10.1078/1433-8319-00003.
- Kollmann J., Schneider B. 1999. Landscape structure and diversity of fleshy-fruited species at forest edges. *Plant Ecology* 144: 37–48. DOI 10.1023/A:1009880506495.
- Kornaś J. 1977. Zespoły wydm nadmorskich i śródlądowych, in: W. Szafer, K. Zarzycki (eds.), Szata Roślinna Polski. PWN, Warszawa, 297–309.
- Krzaklewski W. 1978. Wytyczne 1/78 biologicznej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Maszynopis archiwum Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH, Kraków.
- Krzaklewski W. 2000. Projekt techniczny rekultywacji szczegółowej wierzchołkowej zwałowiska wewnętrznego. Geo-Lab Sp. z o.o., Kraków.
- Krzaklewski W., Wójcki J., Pająk M., Koziół K., Jabłoński M. 2000. Mapa lokalizacji odkrywek glebowych i wyróżnionych gatunków gleb. LBR Geo-Lab Sp. z o.o., Kraków.
- Levey D.J., Tewksbury J.J., Bolker B.M. 2008. Modelling long-distance seed dispersal in heterogeneous landscapes. *Journal of Ecology* 96: 599–608. DOI 10.1111/j.1365-2745.2008.01401.x.
- Li T.S., Schroeder W.R. 1996. Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.): a multipurpose plant. *HortTechnology* 6: 370–380.

- Lu X., Sun K., Ma R., Zhang H., Su X., Wang M. 2006. Fruits foraging patterns and seed dispersal effect of frugivorous birds on *Hippophae rhamnoides sinensis*. *Frontiers of Biology in China* 1: 318–322. DOI 10.1007/s11515-006-0040-9.
- MacDonald D.W., Johnson P.J. 1995. The relationship between bird distribution and the botanical and structural characteristics of hedges. *Journal of Applied Ecology* 32: 492–505. DOI 10.2307/2404647.
- Malmborg P.K., Willson M.F. 1988. Foraging ecology of avian frugivores and some consequences for seed dispersal in an Illinois woodlot. *Condor*: 173–186. DOI 10.2307/1368446.
- Martínez-Ruiz C., Marrs R.H. 2007. Some factors affecting successional change on uranium mine wastes: insights for ecological restoration. *Applied Vegetation Science* 10: 333–342. DOI 10.1658/1402-2001(2007)10[333:SFASCO]2.0.CO;2.
- Matlack G.R. 1994. Plant species migration in a mixed-history forest landscape in Eastern North America. *Ecology* 75: 1491–1502. DOI 10.2307/1937472.
- McChesney C.J., Koch J.M., Bell D.T. 1995. Jarrah forest restoration in Western Australia: Canopy and Topographic Effects. *Restoration Ecology* 3: 105–110. DOI 10.1111/j.1526-100X.1995.tb00083.x.
- McClanahan T.R., Wolfe R.W. 1993. Accelerating forest succession in a fragmented landscape: the role of birds and perches. *Conservation Biology* 7: 279–288. DOI 10.1046/j.1523-1739.1993.07020279.x.
- McDonnell M.J. 1986. Old field vegetation height and the dispersal pattern of bird-disseminated woody plants. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 113: 6–11. DOI 10.2307/2996227.
- McDonnell M.J., Stiles E.W. 1983. The structural complexity of old field vegetation and the recruitment of bird-dispersed plant species. *Oecologia* 56: 109–116. DOI 10.1007/BF00378225.
- Nathan R., Perry G., Cronin J.T., Strand A.E., Cain M.L. 2003. Methods for estimating long-distance dispersal. *Oikos* 103: 261–273. DOI 10.1034/j.1600-0706.2003.12146.x.
- Neu C.W., Byers C.R., Peek J.M. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *The Journal of Wildlife Management* 38: 541–545. DOI 10.2307/3800887.
- Parish T., Lakhani K.H., Sparks T.H. 1995. Modelling the relationship between bird population variables and hedgerow, and other field margin attributes. II. Abundance of individual species and of groups of similar species. *The Journal of Applied Ecology* 32, 362. DOI 10.2307/2405102.
- Pearson M.C., Rogers J.A. 1962. *Hippophae rhamnoides* L. *The Journal of Ecology* 501–513. DOI 10.2307/2257460.
- Ranwell D.S. 1972. The management of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) on selected sites in Great Britain. The Nature Conservancy.
- Robinson G.R., Handel S.N. 1993. Forest restoration on a closed landfill: rapid addition of new species by bird dispersal. *Conservation Biology* 7: 271–278. DOI 10.1046/j.1523-1739.1993.07020271.x.
- Robinson G.R., Handel S.N. 2000. Directing spatial patterns of recruitment during an experimental urban woodland reclamation. *Ecological Applications* 10: 174–188. DOI 10.1890/1051-0761(2000)010[0174:DSPORD]2.0.CO;2.
- Surminski J. 2008. Występowanie i właściwości rokitnika zwyczajnego [*Hippophae rhamnoides* L.]. *Sylwan* 152: 68–74.
- Thompson J.N., Willson M.F. 1978. Disturbance and the Dispersal of Fleshy Fruits. *Science* 200: 1161–1163. DOI 10.1126/science.200.4346.1161.
- Wali M.K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195–220. DOI 10.1023/A:1004475206351.
- Willson M.F. 1993. Dispersal mode, seed shadows, and colonization patterns. *Vegetatio* 107–108: 261–280. DOI 10.1007/BF00052229.
- Zalewska Z. 1955. Rokitnik zwyczajny (*Hippophae rhamnoides* L.). *Rocznik Dendrologiczny* 10: 353–376.

Authors' contributions

L.B., M.K. – study concept and development of study methods, field work, compilation and analysis of data; L.B., M.K., S.M. – literature review, manuscript preparation; L.B., S.M. – editing, corrections and coordination.