

STRESZCZENIE

Postępujący spadek różnorodności gatunkowej i liczebności populacji owadów zapylających wpływa negatywnie na wyniki ekonomiczne produkcji owoców i nasion oraz powoduje destabilizację odnawiania flory entomofilnej w zbiorowiskach naturalnych (Potts i in. 2010b, Ebeling i in. 2012, Hicks i in. 2016). Wśród działań, których celem jest przeciwdziałanie tym niekorzystnym zjawiskom wymienia się poprawę bazy pożytkowej zapylaczy (Alaux i in. 2010, Filipiak i Weiner 2017), która w ostatnich latach uległa destrukcji na skutek wielokierunkowej antropopresji (m.in. intensyfikacji rolnictwa, wprowadzania wielkopowierzchniowych monokultur uprawnych, stosowania środków ochrony roślin; Gonzalez-Varo i in. 2013, Becher i in. 2014). Efektywne zarządzanie bazą pożytkową w krajobrazie możliwe jest w oparciu o znajomość zasobów pokarmowych poszczególnych typów siedlisk. Szczególnie niebezpieczne dla rozwoju owadów są braki pyłku – podstawowego pokarmu białkowego (Alaux i in. 2010, Filipiak i Weiner 2017).

Wydajność pyłkowa fitocenoz leśnych nie została do tej pory oszacowana. W doświadczeniu określano produktywność pyłkową gatunków występujących w runie lasu grądowego (*Tilio-Carpinetum*), uwzględniając cechy roślin przydatne dla praktyki pszczelarskiej (porę i długość kwitnienia, obfitość kwitnienia, masę dostarczanego pyłku). Oszacowano wydajność pyłkową taksonów oraz określano produktywność płatów roślinności w latach badań oraz przedstawiono sezonowy rozkład pożytku pyłkowego. Oceniano również wartość odżywczą pokarmu pyłkowego (zawartości białka, udział skrobi). Prowadzone obserwacje oblotu poszczególnych gatunków przez owady zapylające dostarczyły praktycznych danych obrazujących preferencje entomofauny wizytującej kwiaty.

Badania prowadzone były w latach 2008, 2011, 2012 oraz 2014 w kompleksie leśnym Nowy Gaj (51°15'50.434"N 22°13'21.96"E) w fitocenozie grądowej *Tilio-Carpinetum* Tracz. (Matuszkiewicza 2005) (Ryc. 1). Wydzielono 3 płaty roślinności po 400-500 m² (na glebie świeżej, suchej i wilgotnej), różniące się ilościowością badanych gatunków pożytkowych. Szczegółowymi badaniami biologii kwitnienia i pylenia objęto 26 gatunków roślin, przynależnych do 16 rodzin botanicznych. Ustalano sezonową taśmę kwitnienia, a sezonowe wzorce kwitnienia *sensu* Gentry (1974) określono w przypadku 8 gatunków (w roku 2008 i 2014). Dane dotyczące kwitnienia analizowano na tle wybranych elementów pogody. Masę produkowanego pyłku określono metodą eterowo-alkoholową (Warakomska 1972, Denisow 2011). Określono cechy jakościowe pyłku (żywołność w preparatach barwionych acetokarminem), obecność skrobi (I + KI), zawartości białka - metodą Kjeldahla). Wyniki

opracowano statystycznie (ANOVA, test *post-hoc* Tukeya, współczynnik korelacji Pearsona (r), $p=0,05$). W celu określenia wpływu niektórych cech kwitnienia, pylenia oraz pyłku na skład i preferencje zapylaczy oraz uporządkowania podobieństw składu zapylaczy poszczególnych gatunków roślin przeprowadzono analizę skupień. Jednorodność gatunków roślin oceniano za pomocą aglomeracji metodą Warda, z odległością euklidesową jako miarą podobieństwa (Stanisz 2007).

Różnorodność flory pożytkowej w grądzie *Tilio-Carpinetum* koreluje wprost z ogólną różnorodnością flory, zależy od wilgotności siedliska i jest najwyższa w płatach wykształcających się na siedlisku wilgotnym, a najniższa na siedlisku suchym. Kwitnienie gatunków w runie grądu trwa nieprzerwanie od połowy marca do końca czerwca (Tab. 2,3, Ryc. 2), zapewniając w tym okresie ciągłość pożytku pyłkowego dla wielu grup owadów zapylających. Sezonowa sekwencja kwitnienia flory pożytkowej powtarza się rokrocznie. W okresie krótkoterminowym średni termin początku kwitnienia, początku pełni oraz końca kwitnienia flory pożytkowej grądu *Tilio-Carpinetum* nie różni się istotnie pomiędzy sezonami. Gatunki kwitnące w runie grądu *Tilio-Carpinetum* dostarczają pożytków krótkoterminowych (2-3 tygodnie; 26,9% flory), średnio długich (3-4 tygodnie; 46,2% flory) lub długoterminowych (>30 dni; 26,9%)

Częstym fenologicznym typem kwitnienia, wg którego przebiega sezonowa dynamika kwitnienia wybranych gatunków runa grądowego jest tzw. 'róg obfitości', tj. występowanie wyraźnego szczytu rozwoju kwiatów w populacji (Ryc. 2). Przebieg czynników pogody (opad, średnia dobowa temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza) wpływają modyfikująco na sezonowe wzorce kwitnienia.

Masa pyłku dostarczanego z kwiatów gatunków runa lasu grądowego zależy istotnie od wielkości i produktywności pylników oraz od liczby pręcików w kwiatach, stąd masa pyłku produkowanego w kwiatach różni się istotnie pomiędzy gatunkami. Niewiele pyłku (< 5 mg/10 kwiatów) produkują np. *Pulmonaria obscura*, *Vaccinium myrtillus*, *Alliaria officinalis*, najobficiej pyłą kwiaty *Geum urbanum* (do 70 mg /10 kwiatów) (Tab. 11).

Sumaryczne zasoby pyłku w płatach fitocenozy grądowej *Tilio-Carpinetum* zależą od wilgotności siedliska i wahają się od 20,3 kg/ha (siedlisko suche) do 141,08 kg/ha (siedlisko wilgotne). Średnia wydajność pyłkowa fitocenozy grądowej *Tillio-Carpinetum* wynosi 82,3 kg/ha (Tab. 12, Ryc. 4). Znaczne zróżnicowanie obfitości kwitnienia poszczególnych gatunków pożytkowych występujących w runie grądu *Tilio-Carpinetum* obserwowane pomiędzy sezonami wegetacyjnymi wpływa istotnie na fluktuacje pożytku pyłkowego pomiędzy latami

(14,7-28,5 kg/ha – płat na siedlisku suchym; 69,8-101,5 kg/ha – płat na siedlisku świeżym, 98,5-189,6 kg/ha – płat na siedlisku wilgotnym).

Zasoby pyłku w fitocenozie *Tilio-Carpinetum* zmieniają się w poszczególnych miesiącach sezonu wegetacyjnego (Tab. 4). Niewiele pyłku rośliny runa grądu produkują w marcu i czerwcu (ok. 1,7 kg). Najwięcej pyłku flora grądu *Tilio-Carpinetum* produkuje w maju (średnio 63,79 kg/ha).

Cechy jakościowe pyłku (żywołność, zawartość białka oraz udział skrobi) wykazują zmienność międzygatunkową. Żywołność pyłku oraz udział ziaren wypełnionych skrobią podlega istotnym wahaniom pomiędzy sezonami wegetacyjnymi i okresami sezonu wegetacyjnego. Zawartość białka w pyłku jest bardziej stała i nie wykazuje zmienności pomiędzy sezonami wegetacyjnymi (Ryc. 5). Zawartość białka w protoplaście ziaren pyłku zależała od gatunku i średnio wynosiła od 15,7% (*Oxalis acetosella* - Oxalidaceae) do 41,9% (*Lathyrus vernus* - Fabaceae) (Tab. 13)

Ogółem w okresie badań stwierdzono 7588 owadów wizytujących kwiaty badanych gatunków runa grądu (2008 - 2786 osobników; 2012 - 4802 osobników). W oparciu o analizę skupień wyróżniono 5 grup gatunków roślin o zróżnicowanym składzie procentowym zapylaczy (Ryc. 8), co ma związek z cechami roślin oraz preferencjami zapylaczy. Pszczoła miodna (*Apis mellifera*) wykazuje przywiązanie do kwiatów talerzykowatych pyłkowych, gatunki z rodzaju *Bombus* chętnie odwiedzają kwiaty wargowe, trąbkowe oraz dzwonkowate. Pszczoła miodna preferuje kwiaty charakteryzujące się wysoką produktywnością pyłku. Gatunki z rodzaju *Bombus* chętnie wizytują kwiaty gatunków dostarczających dużych ilości pyłku z jednostki powierzchni, ilość pyłku produkowanego przez poszczególne kwiaty jest mniej istotna dla tych zapylaczy (Ryc. 9, 10). Owady wizytujące kwiaty gatunków runa lasu grądowego nie wykazują powiązań z żywołnością pyłku oraz zawartością białka w pyłku (Tab. 16). Ziarna skrobiowe preferuje *Apis mellifera* oraz grupa zapylaczy klasyfikowana jako inne Apoidea. Gatunki z rodzaju *Bombus*, Diptera i Syrphidae unikają odwiedzin kwiatów, których pyłek gromadzi skrobię (Tab. 16).

Flora grądowych wysp leśnych jest istotnym uzupełnieniem pyłkowej taśmy pokarmowej zapylaczy, szczególnie w okresie wczesnowiosennym i wiosennym.

SUMMARY

The decline in the number of honey bee colonies and wild pollinators impact negatively on the sustainability of fruit and seed crops and causes the problems with generative reproduction of entomophilous plant species in natural biocenoses (Potts et al. 2010b, Ebeling et al. 2012, Hicks et al. 2016). Among others, the possible reason for decline is the transformation of forage flora and the deficiencies of pollen resources (Alaux et al. 2010, Filipiak and Weiner 2017), which are related to multi-directional changes in agriculture, i.e. intensification, monocultures, chemical use (Gonzalez-Varo et al. 2013, Becher et al. 2014). Therefore, the maintenance and/or restoration of wild flowering nectar and pollen flora is required to counteract the pollinators decline (Alaux et al. 2010, Filipiak and Weiner 2017).

There is a lack of data on usefulness of the species that grow in the ground layer of deciduous forest for pollinator insects, therefore the aim of the study was to (i) determine the pollen production (in anthers, in flowers) of several species in *Tilio-Carpinetum*, (ii) evaluate (based on the phenology of flowering and pollen output) the seasonal distribution of pollen resources in *Tilio-Carpinetum* patches, (iii) investigate the total pollen resources produced by the *Tilio-Carpinetum* patches, depending on variability of soil moisture, (iv) determine the qualitative characteristics of pollen, and (v) find out if the features of floral reward could determine the composition of insect visitors.

The studies were carried out in 2008, 2011, 2012, and 2014 in deciduous forest (*Tilio-Carpinetum* Tracz.) localized in Nowy Gaj (51°15'50.434"N 22°13'21.96"E), in SE Poland (Fig. 1). The patches (400-500 m² each) have been distinguished based on the soil moisture A- on fresh soil (mean soil moisture 3.4%; ranged 2.5-6.5%), B- on dry soil (1.6%, ranged 0.3-3.1%), and C- on wet soil (7.5%; ranged 2.4-16.7%).

The detailed study on flowering biology, pollen production and pollinator preferences covered 26 plant species from 16 botanical families. Seasonal pattern of blooming *sensu* Gentry (1974) was determined for 8 species, in 2008 and 2014. The seasonal blooming pattern was analysed on the weather data background. Pollen production was determined based on Warakomska (1972), and Denisow (2011). Qualitative features of pollen were determined (pollen viability – in acetocarmine; starch content - in I + KI; protein content – Kjeldahl method). Statistical analyses (ANOVA, *post-hoc* Tukey test, Pearson correlation (r), p= 0,05) have been performed. The homogeneity of the plant species in relation to the plant-pollinator connections was evaluated by Ward's dendrite method, with the Euclidean distance as a measure of similarity (Stanisz 2007).

The floristic diversity in the ground layer of deciduous *Tilio-Carpinetum* forest impacts on the richness of pollen yielding taxa and determines the total pollen yield of patches. The highest species richness is associated with patches developed on the soil characteristic with high humidity (60 species), the lowest on dry soil (48 species).

The flowering season for forage species in the deciduous *Tilio-Carpinetum* forest lasts from half of March until the end of June (Tabs 2,3, Fig. 2). The sequence of flowering of forage flora is repeatable between seasons. In short-term, the average data of the beginning of flowering, the data of the beginning of full bloom phase, and the data of the end of flowering have not differed between seasons. The plants flowering in ground layer of *Tilio-Carpinetum* ensure short-term forage (2-3 weeks; 26,9% of the flora), medium-term forage (3-4 weeks; 46,2% the flora), or long-term forage (>30 days; 26,9% of the flora).

The seasonal pattern of flowering frequently noted is ‘*cornucopia flowering*’ (sensu Gentry 1974), which is characterised by the mass flowering with distinguished pick of flowering during the season (Fig. 2). However, the weather pattern (precipitation, mean air temperature, and air humidity) can considerably modify the pattern of flower development in the season.

The mass of pollen produced in anthers significantly depends on the anther size ($r = 0.563$, $p=0.002$). The mass of pollen produced in flowers depends on the mass of pollen in anthers ($r = 0,897$, $p=0,000$), and the number of developed anthers per flower ($r=0,672$, $p=0,003$), therefore considerable interspecies disparity have been determined. Low amount of pollen (< 5 mg/10 flowers) was determined in *Pulmonaria obscura*, *Vaccinium myrtillus*, *Alliaria officinalis*. The highest mass of pollen was found in multi-staminate flowers of *Geum urbanum* (up to 70 mg /10 flowers) (Tab. 11).

Depending on the year and the moisture of soil, the total annual pollen resources of *Tilio-Carpinetum* patches may range from 20,3 kg/ha (on dry soil) to 141,08 kg/ha (on wet soil) and is 82.3 kg/ha, on average (Tab. 12, Fig. 4). Within the patches, inter-year variations in the number of developer flowers were significant and impacted on the total pollen resources available between seasons. Consequently, the total mass of pollen available ranged 14.7-28.5 kg/ha – on dry soil; 69.8-101.5 kg/ha – on fresh soil, 98.5-189.6 kg/ha – on soil with high humidity.

The spectrum of flowering of the ground layer flora of *Tilio-Carpinetum* affects the seasonal distribution of pollen forage (Tab. 4). The scarcity of pollen is noted in March and

June (approx. 1.7 kg/ha), the highest mass of available pollen is in May (63.79 kg/ha, on average).

In general, the pollen of the ground layer plant species of *Tilio-Carpinetum* is a good source of energy and proteins (Fig. 5). The protein content ranging from 15.7% (*Oxalis acetosella* - Oxalidaceae) to 41.9% (*Lathyrus vernus* - Fabaceae) does not affect foraging preferences of pollinating insects (Tab. 13).

During the study, 7588 individuals of pollinating insects have been established (2008 - 2786 individuals; 2012 - 4802 individuals). Interspecies disparity for the number of insect visitors, their relative participation, and frequency have been established. Based on Ward method, 5 groups of plant species have been distinguished (Fig. 8). The interspecies differences are related to morphological flower traits, pollen traits and pollinator preferences. Honeybee (*Apis mellifera*) eagerly visits plant species with open dish flowers. The species from the genus *Bombus* prefer Lamiaceae type, tubular or bell flowers. The honeybee shows significant preferences to the plant species with a high amount of pollen produced in flowers. Bumblebees (*Bombus* spp.) prefer plant species which ensure a high pollen yield per unit area over a short period of time; the mass of pollen in particular flowers is less important (Fig. 9, 10). Pollen viability and the protein content in pollen do not affect foraging preferences of insect visitors to the flowers (Tab. 16). The presence of starch in pollen grains influences the foraging preferences of pollinators. *Apis mellifera* and other Apoidea eagerly forage the plant species which contain starch in pollen grains, whereas species of the genus *Bombus*, Diptera and Syrphidae avoid starchy pollen (Tab. 16).

The obtained results may be of practical importance when estimation of pollen resources availability is required in landscape scale and for selecting species intended for the enrichment of bee pastures, in particular for early spring and spring period.