

The analysis of the spatial structure of hart's tongue *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. populations

JAN BODZIARCZYK

Department of Forest Botany and Nature Conservation, Agricultural University, Al. 29 Listopada 46, PL-31-425 Kraków, Poland; e-mail: rlbodzia@cyf-kr.edu.pl

ABSTRACT: The paper presents results of the spatial pattern analysis in hart's tongue *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. populations. Spatial relationships among individuals belonging to various developmental stages were determined, and the relation between the occurrence of hart's tongue fern and environmental factors was ascertained. The fine-scale spatial pattern of *Phyllitis scolopendrium* resulted from its life history strategy and microsite mosaics. Although the spatial patterns in various populations were variable, they displayed also some universal features. In general, juvenile plants were clumped, usually at distances between 0.5 and 1.0 m. Mature individuals displayed a random spatial pattern, and senile ones tended to be uniformly distributed, although the tendency towards regularity was statistically insignificant. Positive spatial correlations was found between the individuals belonging to the early juvenile and juvenile stages, while a negative spatial relationship was found between juvenile and senile individuals.

ABSTRAKT: W pracy przedstawiono wyniki analizy wzorca przestrzennego populacji jęczycznika zwyczajnego *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. Określono zależności przestrzenne pomiędzy osobnikami różnych stadiów rozwojowych oraz ich związek z mikrosiedliskiem. Wzorec dla jęczycznika w małej skali przestrzennej jest wypadkową jego strategii życiowej oraz mozaiki mikrosiedliska. Jęczycznik, mimo iż cechuje się dużą zmiennością wzorców w badanych populacjach, generalnie wykazuje pewną prawidłowość. Osobniki juwenilne wyróżniają się wzorcem skupiskowym: grupy paproci występują najczęściej w odległościach 0,5–1,0 m. Osobniki dojrzałe, zarodnikujące, wykazują zawsze wzorec losowy, a osobniki senilne z kolei ujawniają tendencje do rozmieszczenia równomiernego, ale zależność ta nie jest statystycznie istotna. W relacjach między osobnikami różnych stadiów rozwojowych wykryto pozytywne zależności pomiędzy stadium wczesnojuwenilnym i juwenilnym oraz negatywne pomiędzy osobnikami juwenilnymi i senilnymi.

KEY WORDS: protected species, Ripley's function, site mosaic, spatial pattern, rubble

BODZIARCZYK J. 2008. The analysis of the spatial structure of hart's tongue *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. populations. – In: E. Szczęśniak, E. Gola (eds), Club mosses, horsetails and ferns in Poland – resources and protection. – Institute of Plant Biology, University of Wrocław, Wrocław, p. 225–234.

Introduction

The spatial pattern of plant distribution usually results from the interplay between habitat factors and biological properties of plants (Anderson 1961; Kershaw 1978; Beatty 1984; Szwagrzyk 1991, 1992; Szwagrzyk *et. al.* 1997). Answering the question, which factor is responsible for a given spatial pattern, is usually very difficult. How is the pattern created and how stable is it? What is the variability in space and changes in time? Results of many studies suggest that fine-scale spatial patterns reflect the plant growth type, microsite mosaics and interferences among different plant species or between individuals of the same species.

The aim of this work was answering at least some of these questions. The research was focused on the analysis of the spatial pattern in hart's tongue population and determining the spatial scale of that pattern. An effort was also made to find the factor responsible for the development of the spatial structure of *Phyllitis scolopendrium* individuals.

1. Material and methods

The studies were conducted in 14 permanent research plots distributed in main areas of *Phyllitis scolopendrium* occurrence in Poland (Fig. 1). Each plot was a rectangle 16 by 8 m located in a patch of the *Phyllitido-Aceretum* Moor 1952 community. Within each plot, all individuals of hart's tongue were mapped and their developmental stages determined according to an earlier developed key (Bodziarczyk 1992, 1994). Moreover, in each square meter within the plot the percentage of rubble cover was determined.

To determine the spatial pattern of plants, the modified Ripley's $L(t)$ function was employed (Ripley 1981; Diggle 1983; Szwagrzyk, Ptak 1991). In order to fully utilise the data, in each plot 3 circular subplots of 3 m radius were placed (Fig. 2), and separate analyses were conducted for each subplot. Each subplot was divided into a central part and a buffer zone. Spatial patterns were determined for all individuals together and separately for each developmental stage. Moreover, mutual relationships between individuals belonging to different developmental stages were ascertained.



Fig. 1. Distribution of the *Phyllitis scolopendrium* study areas; A – Kaczawskie Foothills, B–C – Ojców National Park, D – Beskid Wyspowy Mts., C – Gorce Mts., F–I – Pieniny National Park, J – Beskid Sądecki Mts., L – Beskid Niski Range I, M – Beskid Niski Range II, N – Low Bieszczady Mts., O – High Bieszczady Mts.

Ryc. 1. Rozmieszczenie powierzchni badawczych jęczynika zwyczajnego *Phyllitis scolopendrium*; A – Pogórze Kaczawskie, B–C – Ojcowski Park Narodowy, D – Beskid Wyspowy, E – Gorce, F–I – Pieniński Park Narodowy, J – Beskid Sądecki, L – Beskid Niski I, M – Beskid Niski II, N – Bieszczady Niskie, O – Bieszczady Wysokie

2. Results

2.1 The spatial pattern of hart's tongue fern

All the populations of *Phyllitis scolopendrium*, which were numerous enough to conduct the analyses, displayed a clumped spatial pattern (Fig. 2a – A1, B1). The differences in a spatial scale were population-specific. A statistically significant aggregated pattern was found at short distances, usually 60–70 cm, only rarely at longer distances. In dense populations, the aggregated pattern was displayed at short inter-specific distances up to 30 cm. When the population density was low, the pattern was also aggregated, but at distances up to 1.2 m. In a few cases, when the densities were rather low (< 50 individuals per plot), the pattern was random but indicating some tendency towards clumping.

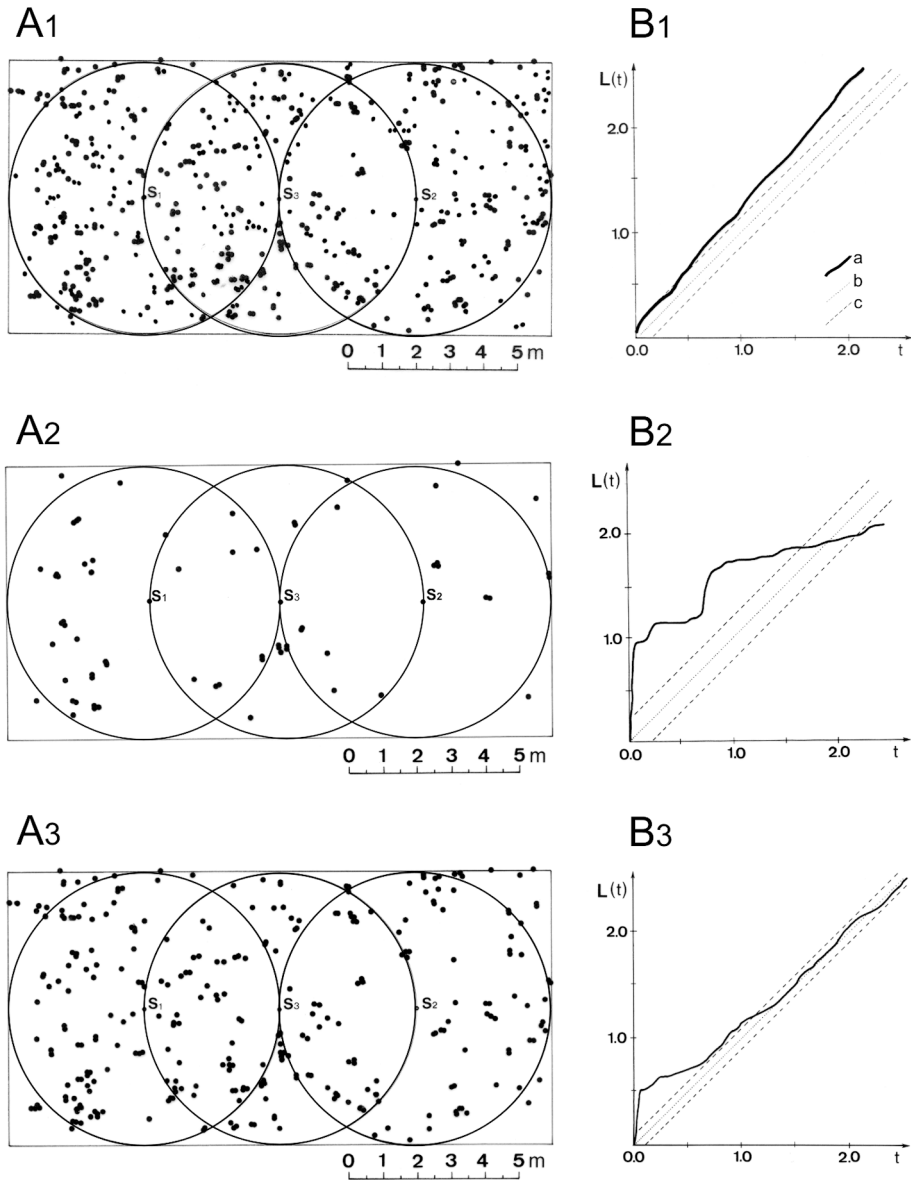
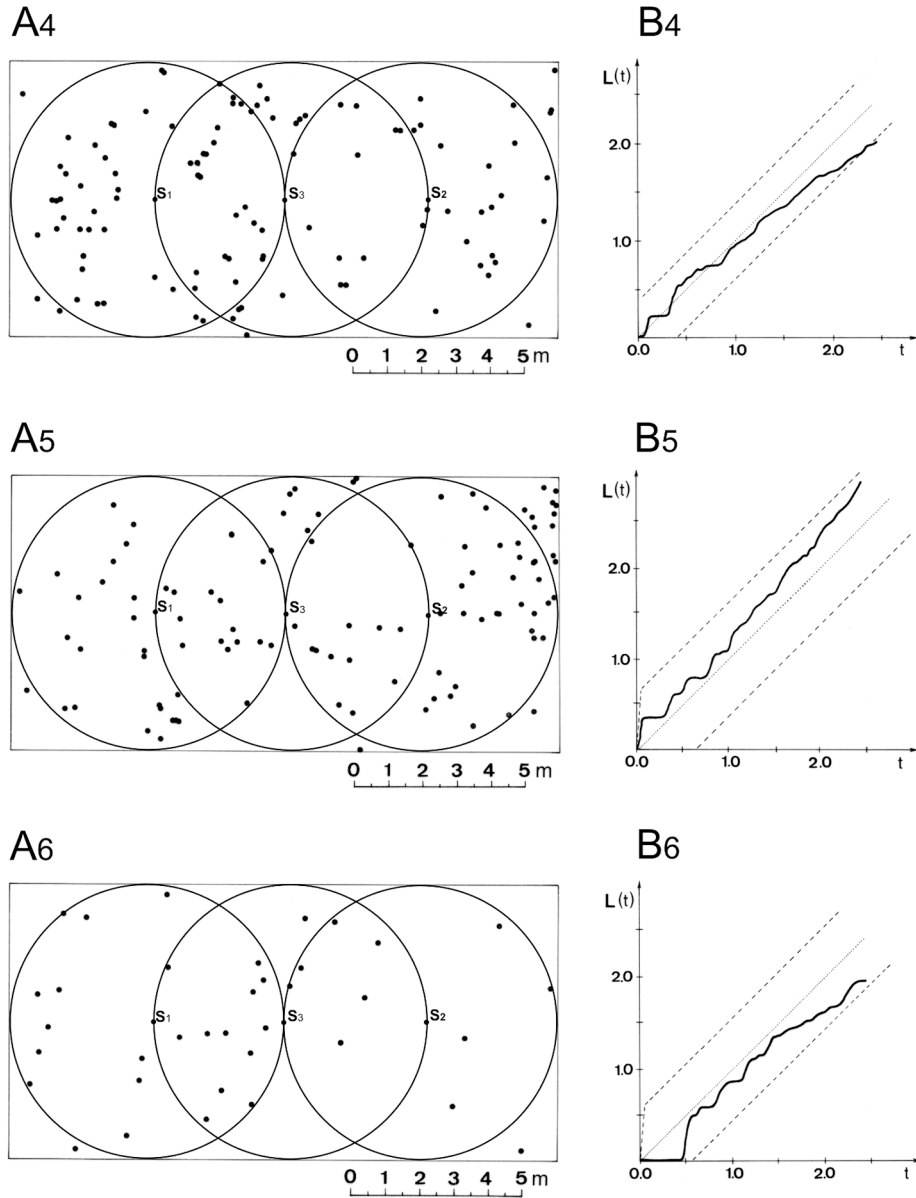


Fig. 2. Distribution of individuals of *Phyllitis scolopendrium* in permanent sample plots in Pieniny (A) and the results of analysis of the spatial pattern using the $L(t)$ function (B) A1, B1 – all individuals together, A2, B2 – early juvenile individuals, A3, B3 – juvenile individuals, A4, B4 – maturing individuals, A5, B5 – fully mature individuals, A6, B6 – senile individuals; S1, S2, S3 – centers of analyzed subplots, a – value of $L(t)$ function, b – value of $L(t)$ function for a purely random distribution (CSR), c – limits of 0.05 constant confidence intervals



Ryc. 2. Rozmieszczenie (A) osobników *Phyllitis scolopendrium* na przykładzie stałej powierzchni badawczej w Pieninach oraz wykres (B) funkcji $L(t)$, obrazujący wzorec rozmieszczenia osobników

A1, B1 – wszystkie osobniki razem; A2, B2 – osobniki wczesnojuwenilne; A3, B3 – osobniki juwenilne, A4, B4 – osobniki dojrzewające, A5, B5 – osobniki zarodnikujące, A6, B6 – osobniki senilne; S_1 , S_2 , S_3 – środki kolejnych analizowanych podpowierzchni, a – wartość funkcji $L(t)$, b – wartość funkcji $L(t)$ dla idealnego rozkładu losowego, c – granice 0.05 % przedziału ufności

2.2 Spatial patterns in developmental stages

Five developmental stages of hart's tongue fern were recognized:

- a. an early juvenile stage (sporelings), with leaves shorter than 1 cm;
 - b. a juvenile stage with individuals at least one year old, with leaves shorter than 10 cm and not producing any spores yet;
 - c. a maturing stage, in which individuals produce at least some leaves with sporangia, but other leaves are without them. The length of leaves is very variable and can range from a few centimeters to several dozens centimeters;
 - d. a full maturity stage, in which all leaves produce sporangia;
 - e. a senile stage with individuals producing only leaves without sporangia.
- The shape of leaves is different from the other stages, they are smaller but with longer petioles.

Detailed analyses of the spatial pattern, conducted separately for each developmental stage, show some regularities. Individuals in early juvenile and juvenile stages, both together and separately, displayed a statistically significant aggregated pattern (Fig. 2 – A2, B2, A3, B3). The scale of clumping was variable, usually below 1 m. Individuals in a maturing stage and fully mature individuals displayed a pattern which was not statistically different from a random one (Fig. 2 – A4, B4, A5, B5). Sometimes the Ripley's function showed a tendency towards fern clumping but plants were never significantly aggregated. The senile individuals, which were not very numerous, were usually randomly distributed, and frequently displayed a tendency towards spacing (Fig. 2 – A6, B6).

2.3 Spatial relationship between developmental stages

The analysis of spatial relationship between developmental stages showed some regularities (Fig. 3). Individuals in early juvenile and juvenile stages displayed statistically significant tendency towards mutual "attraction" (Fig. 3A). The spatial relationship between the groups of early juvenile and juvenile individuals on one side, and both maturing and mature individuals on the other side, showed neither attraction nor repulsion; these groups were distributed independently. An interesting result was obtained while analyzing the spatial relationship between juvenile and senile individuals. They showed significant "repulsion" at distances over 450 cm (Fig. 3D).

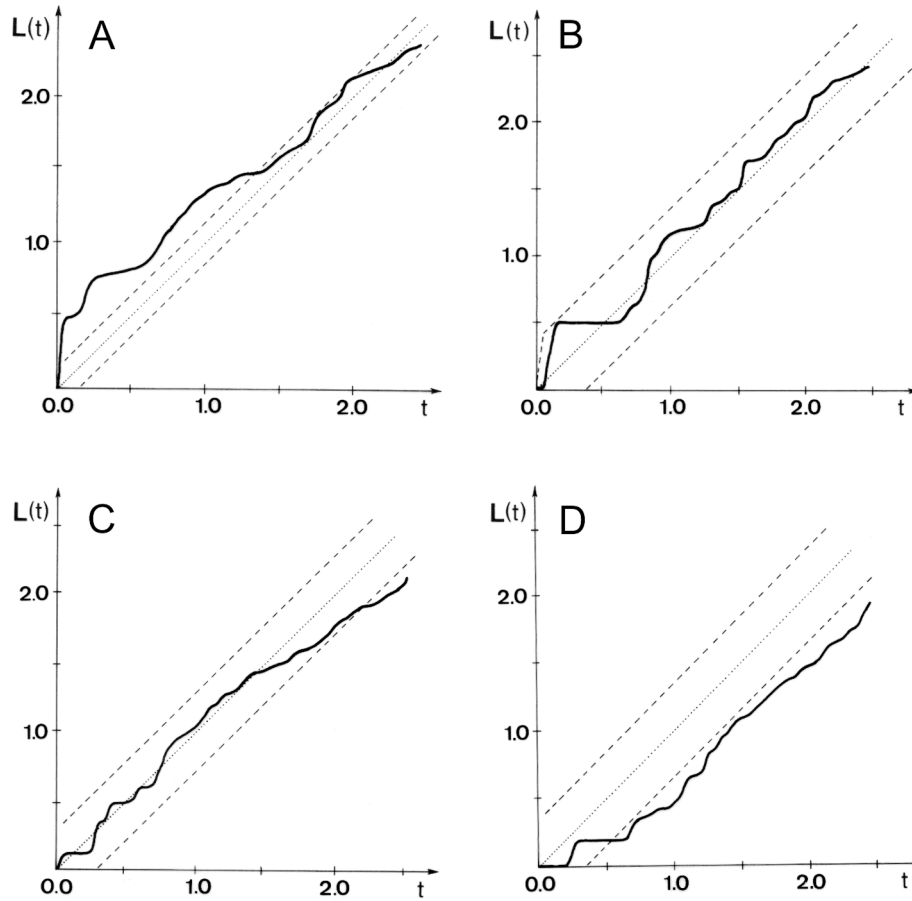


Fig. 3. Results of bivariate $L(t)$ analysis determining a relationship between individuals in various developmental stages; A – early juvenile and juvenile individuals, B – early juvenile and maturing individuals, C – early juvenile and fully mature individuals, D – early juvenile and senile individuals

Ryc. 3. Wykres funkcji $L(t)$ określający wzajemne relacje osobników w stadium wczesnojuwenilnym i osobników w pozostałych stadiach rozwojowych; A – pomiędzy osobnikami w stadium wczesnojuwenilnym a stadium juwenilnym, B – pomiędzy osobnikami w stadium wczesnojuwenilnym a stadium dojrzewania, C – pomiędzy osobnikami w stadium wczesnojuwenilnym a stadium zarodnikowania, D – pomiędzy osobnikami w stadium wczesnojuwenilnym a stadium senilnym

3. Discussion

Data presented above suggest that spatial patterns of the hart's tongue fern result mainly from the microsite mosaic. This species is strongly confined to rocky slopes, where natural disturbances are frequent and, to some extent, they are a prerequisite for this species occurrence (Bodziarczyk 1995; Bodziarczyk, Szwagrzyk 1995; Bodziarczyk 2004). The most interesting result is a strong correlation between the occurrence of the young generation of the hart's tongue fern, which is usually strongly clumped and the presence of fine-grained rubble. Among plants, the aggregated spatial pattern usually occurs in species, which are very different from *Phyllitis scolopendrium* in their growth and reproduction patterns.

The hart's tongue fern, which reproduces mainly in a generative way, should display a random distribution pattern, especially of juvenile individuals. Detailed cartographic analyses showed that juvenile plants are confined to small rocky outcrops or to small boulders, frequently moving down the slope. Very few plants apart from *Phyllitis scolopendrium* are able to thrive in such places. Due to lack of competition from other plants such microhabitats probably play the role of "safe places" for young individuals of the hart's tongue fern. However, for further development young individuals of *Phyllitis scolopendrium* need a contact with soil; movement of stones with juvenile plants can allow at least some of them to anchor safely in the soil.

Thus, the young individuals of *Phyllitis scolopendrium* occupy different habitats than the older ones. This relationship was established using detailed mapping of individuals (Bodziarczyk 1992), and then was supported by the results of statistical analyses including the results of the Ripley's K function and other methods, presented in the other article (Bodziarczyk, Krzus 2006).

4. Conclusion

The spatial pattern of the hart's tongue fern population as well as the fine-scale spatial relations among individuals in various developmental stages result probably from the microsite mosaic.

Acknowledgements. This work was a part of research program (3 P04G 06922) supported by funds from the Scientific Research Committee.

References

- ANDERSON D.J. 1961. The structure of some upland plant communities in Caernarvonshire, II. The pattern show by *Pteridium aquilinum*. – J. Ecol. **49**: 369–377.
- BEATTY S.W. 1984. Influence of microtopography and canopy species on spatial patterns of forest understory plants. – Ecology **65**(5): 1406–1419.
- BODZIARCZYK J. 1992. The structure of selected hart's tongue *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. populations, as related to ecological factors. – Ekol. pol. **40**(3): 439–460.
- BODZIARCZYK J. 1995. Changes in abundance and population structure of *Phyllitis scolopendrium* in Pieniny National Park. – Przegł. Przyr. **5**(3–4): 201–217 [in Polish with English summary].
- BODZIARCZYK J. 2004. Sycamore maple forests of the Pieniny National Park. – Studia Naturae **49**: 61–86 [in Polish].
- BODZIARCZYK J., KRZUS A. 2006. Relative age of *Phyllitis scolopendrium* phytoceneses as determined by population structure analysis. – In: PIĘKOŚ-MIRKOWA H., ZENKTELER E. (eds), Conservation-related problems of pterido-phytes in Poland. – Botanical Guidebooks **29**: 47–54.
- BODZIARCZYK J., SZWAGRZYK J. 1995. Species composition and structure of forest stands in *Phyllitido-Aceretum* community. – Ekol. pol. **43**(3–4): 153–173.
- DIGGLE P.J. 1983. The statistical analysis of spatial point patterns. – Academic Press, Londyn, 148 pp.
- KERSHAW K.A. 1978. Quantitative and dynamics plant ecology. – PWN, Warszawa, 383 pp. [in Polish].
- RIPLEY B.D. 1981. Spatial statistics. – Wiley & Sons, Londyn, 252 pp.
- SZWAGRZYK J. 1991. A small scale cartographic approach to forest community structure: problems and preliminary results. – Phytocenosis (N.S.) **3**: 47–50.
- SZWAGRZYK J. 1992. Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus sylvestris-Fagus sylvatica* forest. – For. Ecol. Managem. **51**: 301–315.
- SZWAGRZYK J., PTAK J. 1991. Analyses of spatial structure of populations and communities based on mapped point patterns of individuals – Wiad. Ekol. **37**: 107–124 [in Polish].
- SZWAGRZYK J., SZEWCZYK J., BODZIARCZYK J. 1997. Spatial Variability of a Natural Stand in the Babia Góra National Park. – Folia Forest. Pol., Ser. A, Forestry **37**: 111–123.

Analiza struktury przestrzennej populacji jęczycznika zwyczajnego *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm.

Celem badań było poznanie wzorca struktury przestrzennej (horyzontalnej) populacji jęczycznika zwyczajnego *Phyllitis scolopendrium* oraz wzajemnych relacji pomiędzy wyróżnionymi stadiami rozwojowymi. Ponadto podjęto próbę określenia związku pomiędzy mikrosiedliskiem a rozmieszczeniem osobników. Do analizy wykorzystano dane zebrane z 14 stałych powierzchni badawczych, rozmieszczonych w największych skupiskach jęczycznika w Polsce (ryc. 1). Na każdej powierzchni określono szczegółowe rozmieszczenie osobników, stadium rozwojowe oraz skartowano rumosz skalny – czynnik mający istotny wpływ na rozmieszczenie badanego gatunku. Korzystając z funkcji Ripley'a określono wzorec przestrzenny osobników jęczycznika oraz wzajemne relacje przestrzenne między wyróżnionymi stadiami rozwojowymi. Wyniki kartowania rumoszu odniesiono do rozmieszczenia osobników jęczycznika.

Z przeprowadzonych badań wynika, że populacje charakteryzowały się skupiskową strukturą przestrzenną (ryc. 2). Różnice między nimi wynikały tylko z wielkości skali przestrzennej, która była specyficzną cechą każdej z populacji. Skupiskowy rozkład osobników – statystycznie istotny, wykazywały populacje na ogół przy małych odległościach między osobnikami; najczęściej do 60–70 cm, a wyjątkowo rzadziej przy odległościach nieco większych. Wzorec skupiskowy najczęściej wykrywano w stadium młodocianym. Osobniki dojrzewające i dojrzałe wyróżniały się wzorcem losowym, natomiast osobniki subsenilne i senilne, które na ogół w badanych populacjach były niezbyt liczne, wykazywały trend w kierunku równomierności (ryc. 2 – A6, B6).

Analizując relacje przestrzenne pomiędzy wyróżnionymi stadiami rozwojowymi stwierdzono pozytywne zależności (wzajemne „przyciąganie się” osobników w stadium wczesnojuwenilnym i juwenilnym; ryc. 3A). W relacjach pomiędzy osobnikami młodocianymi (wczesnojuwenilnymi i juwenilnymi razem) a osobnikami w stadium zarodnikowania (dojrzewającymi i dojrzałymi) brak istotnych zależności (ryc. 3B,C), co oznacza, że osobniki tych stadiów rozwojowych były względem siebie rozmieszczone w sposób losowy. Pomędzy osobnikami juwenilnymi a osobnikami w stadium senilnym stwierdzono negatywne zależności przestrzenne („repulsion”), już przy odległościach powyżej 50 cm (ryc. 3D). Porównując rozmieszczenie osobników w przestrzeni z rozkładem rumoszu skalnego na powierzchni, wykazano silny związek najmłodszego stadium rozwojowego jęczycznika z mikromozaiką siedliska.