

Padisák, J., Rajczy, M., P.-Komáromi, Zs. & Hazslinszky, T. (1984): Experiments on algae and mosses developing around different lamps in the cave "Pál-völgyi-barlang". - Proc. of the International Colloquium on lamp flora, Budapest, 10-13 October, 1984: 83-102.

NEMZETKÖZI LÁMPAFLÓRA KOLLOKVIUM
INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON LAMP FLORA
INTERNATIONALES KOLLOQUIUM FÜR LAMPENFLORA

1984. október 10-13.

10-13. October 1984.

Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat
Hungarian Speleological Society
Ungarische Gesellschaft für Karst- und
Höhlenforschung

EXPERIMENTS ON ALGAE AND MOSSES DEVELOPING AROUND DIFFERENT
LAMPS IN THE CAVE "PÁL-VÖLGYI-BARLANG"

Judit PADISÁK - Miklós RAJCZY - Zsuzsa PÁRICSY-KOMÁROMY -
Tamás HAZSLINSZKY

/Hungary/

INTRODUCTION

Mass production of green plants - algae, mosses and ferns - in the illuminated areas of show-caves is a common phenomenon. The process can be so intensive that it appears as the most serious danger to the beauties /geological formations, crystals, dripstone decorations, etc./ of the cave.

Studies on plants developing in lamp areas have been carried out in Hungary /Hajdú 1977, Hajdú and Orbán 1982/ and in other countries /Dobat 1966, Clair and Rushforth 1976, Clair et al. 1981/ as well. In spite of this fact direct experiments on the subject have not been carried out yet.

To study the development of plants around electric lights 13 lamps were placed in different parts of the cave "Pál-völgyi-barlang" /Budapest, Hungary/. This paper summarizes the results of the first year of the experiment.

METHODS

The cave "Pál-völgyi-barlang" was formed in Upper Eocene limestone due to physical and chemical effects of abyssal thermal waters which are primarily responsible for the origin of the cave. It was discovered during quarry operation in 1904 and had an explored total length of 1200 m since the 1920's. An intensive exploration started in 1980 led to the discovery of numerous cave stretches of considerable size. The actual length of the cave together with the recently explored parts is more than 4000 m, which means that it is the 5th longest cave of Hungary /Takács-Bolner 1980, Kárpát and Takács-Bolner 1983/.

The cave was made suitable for touristical use in 1919,

electric lighting system was installed in 1927. During the Second World War it was used as an air-raid shelter, the electric system was renewed and the cave was reopened in the 1950's /Kordos 1984/. The electric system was renewed last in 1973 /Károly, G. personal communication/.

Three cave areas were assigned for the experiments which are not visited by the tourists, but have previously installed electric system /Fig. 1./

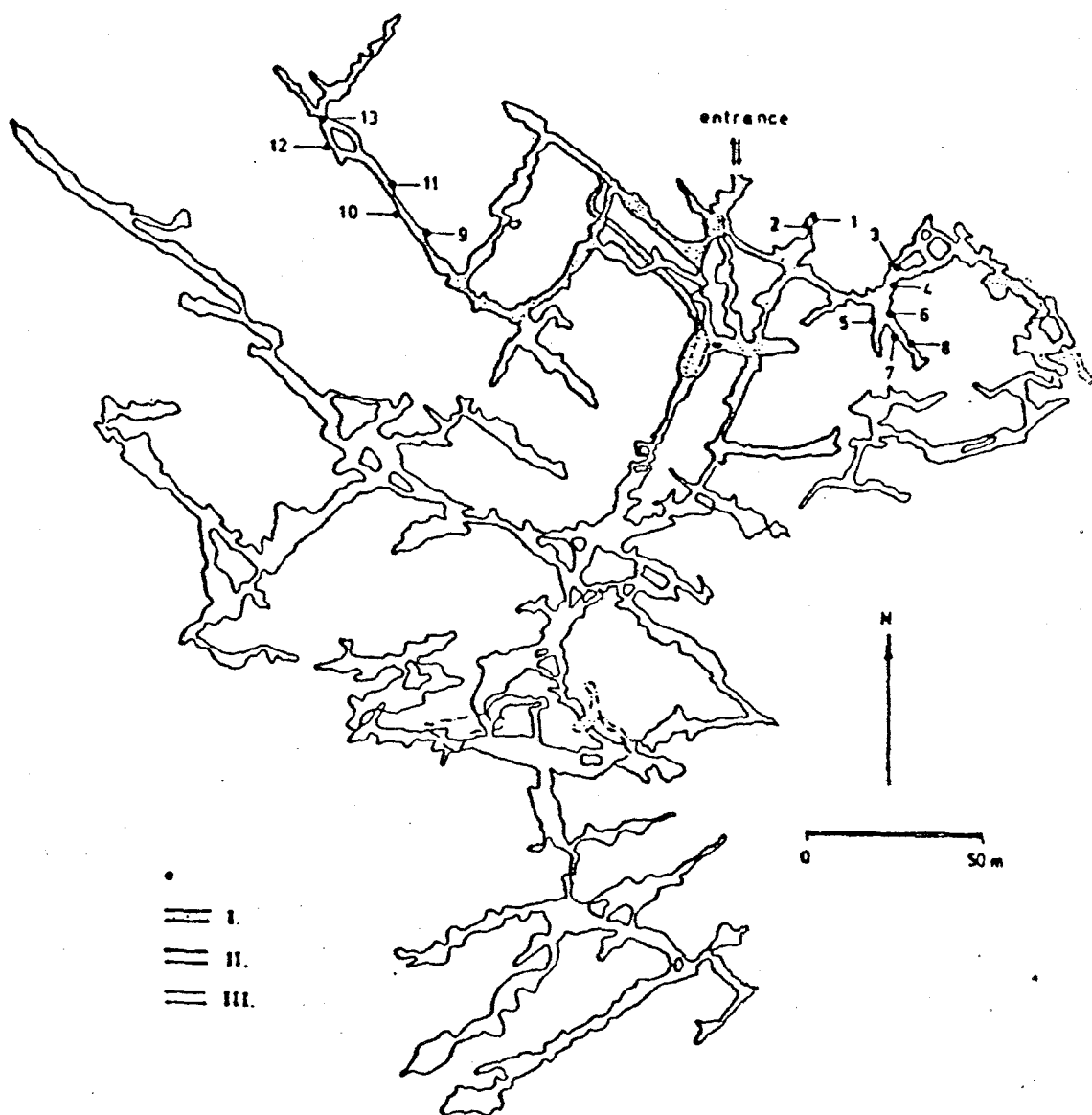


Fig.1. Map of the cave "Pál-völgyi-barlang" after Kárpát and Takács-Bolner /1983/; ●: position and N^os of lamps; I: cave areas visited by tourist; II. cave areas explored in the beginning of the 20th century; III: cave areas explored in the 1980s.

1. Two lamps /N^{os} 1 and 2/ were placed in the cavern "Elő-osarnok". This part of the cave is near the tourist-path and was never illuminated before. 2. The area "Kőhid-terem" was visited by tourist groups before the Second World War, so it was illuminated. Anyhow, this area has not been used for touristic purpose since 1973 /Károly G. pers. comm./. Three lamps of the existing lighting system /N^{os} 3,4 and 5/ were utilized in our experiments only having their direction modified, and three new lamps /N^{os} 6,7 and 8/ were installed.

3. The part "Öt barát-folyosó" had a separated system of electric lines due to an earlier, unfinished /one year long/ experiment. As the experiment interrupted, all the lamps were removed from the cave except one /No. 11/ which had been used for mushroom /*Pleurotus ostreatus*/ cultivation until the beginning of our experiments. Four new lamps /N^{os} 9,10, 12 and 13/ were placed in the area. Data on lamps and lamp areas /type, bulb-power in watts, total illumination in kilowatt-hours counted by multiplying the bulb-power and working hours between June 1983 and September 1984, the estimated area of the illuminated surface in m², the distance distribution of the illuminated area and its water conditions/ are given in Table 1.

Samples were taken on 1 July and 2 November 1983, on 11 January, 20 March, 31 May 1984. The illuminated area was scraped with a presterilized knife and the material was put into glass tubes filled with sterilized Bold's inorganic, fluid medium. The collected individuals and propagules of algae and mosses were incubated in these tubes in room temperature and natural light for 2-3 months. Then the algae were identified and presence of protonemata was noted /protonemata are never suitable for species determination/, since they develop well in the applied fluid medium. Moss specimens in late juvenile phase were collected in September 1984.

A lámpák és az általuk megvilágított felületek adatai

Angaben der Lampen und der Lampenbereiche

1. lamp No.	2. lamp-type	3. bulb-power /W/	4. total illumination /kWh/	5. illuminated area /m ² /	6. distance distribution of the illuminated area /m ² /					7. water conditions of the illuminated area /m ² /				12. species number of		
					0.5	0.5-1	1-2	2-4	4 /m/	8. intensive waterflow	9. always wet	10. sometimes wet	11. air-dry	algae	mosses	
1.	incandescent	500	740	5.00	-	-	-	5.00	-	-	-	1.50	3.50	-	5	-
2.	incandescent	500	740	4.40	-	-	4.40	-	-	-	-	-	-	4.40	2	-
3.	incandescent	500	740	2.25	-	0.25	2.00	-	-	-	-	-	-	2.25	10	-
4.	incandescent	500	740	1.50	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	1.50	9	1
5.	high pressure mercury	400	740	10.00	-	-	2.00	5.00	3.00	-	-	1.50	4.00	4.50	4	-
6.	iodine	500	592	1.50	-	-	-	-	1.50	-	-	-	1.50	-	2	-
7.	incandescent	150	222	1.50	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	1.50	-	-
8.	incandescent	500	740	2.25	-	-	2.25	-	-	-	-	-	-	1.50	14	-
9.	low pressure mercury	2x20	168	0.70	0.40	0.30	-	-	-	-	-	-	0.70	-	17	1
10.	low pressure mercury	2x20	168	3.20	0.90	0.40	1.90	-	-	-	-	-	3.20	-	17	0
11.	low pressure mercury	2x40	335	4.10	0.30	1.30	2.50	-	-	-	-	0.00	3.30	-	26	3
12.	incandescent	500	2094	5.30	1.50	1.50	-	2.30	-	-	-	-	0.30	5.00	9	3
13.	incandescent	150	628	3.30	0.10	0.20	3.00	-	-	-	-	-	1.00	1.50	19	2

1. Lámpa száma - Lampennummer

2. Lámpa típusa - Lampentyp

3. Teljesítmény - Leistung

4. Összes megvilágítás - Gesamtbeleuchtung

5. Megvilágított felület - beleuchtete Fläche

6. A megvilágított felület távolsága a lámpától - Die Entfernung der beleuchteten Fläche von der Lampe

7. A megvilágított felület vízviszonyai - Die Wasserverhältnisse der beleuchteten Fläche

8. Vízfolyás - fließendes Wasser

9. Mindig nedves - immer nass

10. Néha nedves - selten nass

11. Légszáraz - lufttrocken

12. fajszám - Artenzahl

- algák - Algen

- mohák - Moos

incandescent = izzólámpa - Glühlampe
high pressure mercury = higanygőzlámpa - Quecksilberlampe

iodine = jódhalogénlámpa - Jodhalogenlampe

low pressure mercury = fénycső - Leuchtöhre

RESULTS

During the study period 41 species of algae /11 Cyanophyta, 11 Xanthophyceae, 9 Bacillariophyceae, 10 Chlorophyta/ and ca. 5 moss species were found. The number of species are given in Table 1. The most frequent species were: *Pleotonema schmidleii*, *Phormidium foveolarum*, *Stichococcus bacillaris*, *Fragilaria* cf. *pinnata* and *Chlorella* spp. Further taxonomical details will be discussed in an other paper. Moss protonemata developed at lamps N^{os} 1, 4, 8, 9, 10, 11, 12 and 13.

Occurrence of macroscopically visible green patches on the illuminated surfaces and microscopical presence of different plant groups in the culturing tubes are given in Fig. 2.

The number of species continuously increased in the lamp areas since July 1983. Considering that it can greatly alter in early successional phases, the number of species /algae + mosses/ were cumulated to study areas "Előcsarnok", "Öt barát folyosó", "Kőhid-terem" /instead of discussing the variety lamp by lamp /Fig. 3./.

DISCUSSION

Light conditions /lamp-type, power, working hours, distance relations etc./ are generally regarded as prior factor controlling the green covers on the illuminated surfaces of caves. Our results /which refer to the early phase of floral development/ do not correspond with the previous statement as it can be well seen on Fig. 4, where the number of species are plotted against the total illumination.

This, at first sight surprising fact, forced us to search for other factors which can be responsible for the differences. The main group of them was found in the different fertilization danger of areas illuminated by different lamps. To quantify this danger an index of endangerment was developed which includes light conditions and other ecological variables as well. In the index 12 different variables were taken into consideration as follows:

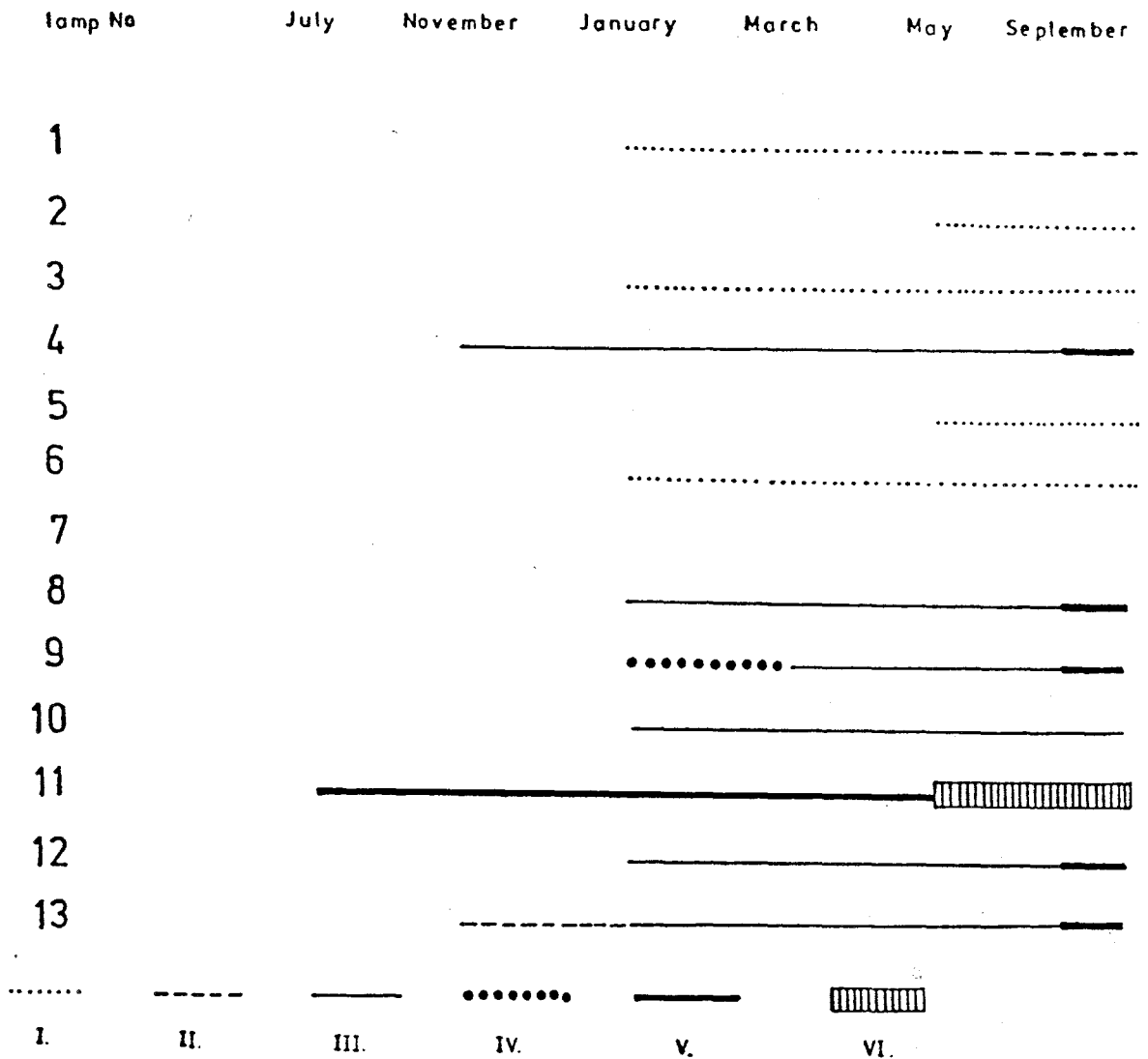


Fig. 2. Presence of different plant groups in the illuminated areas of the experimental lamps;

I. algae can be detected with microscopical methods only;

II. algae + moss protonemata can be detected with microscopical methods only;

III. algae + moss protonemata in macroscopical visible patches;

IV. algae only in macroscopically visible patches;

V. algae + moss protonemata + moss specimens in late juvenile phase in the macroscopically visible green patches;

VI. algae + moss protonemata + moss specimens in late juvenile phase + fern prothallia in the macroscopically visible green patches.

number of species

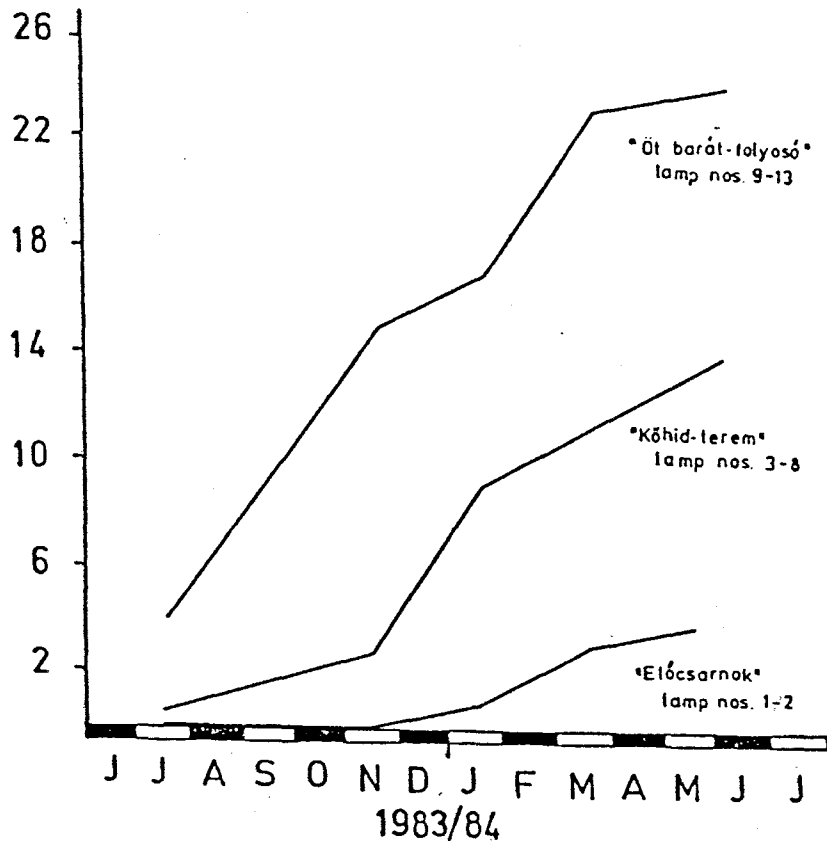


Fig. 3. Changes in the number of species in the three experimental area of the cave "Pál-völgyi-barlang" between July 1983 and May 1984.

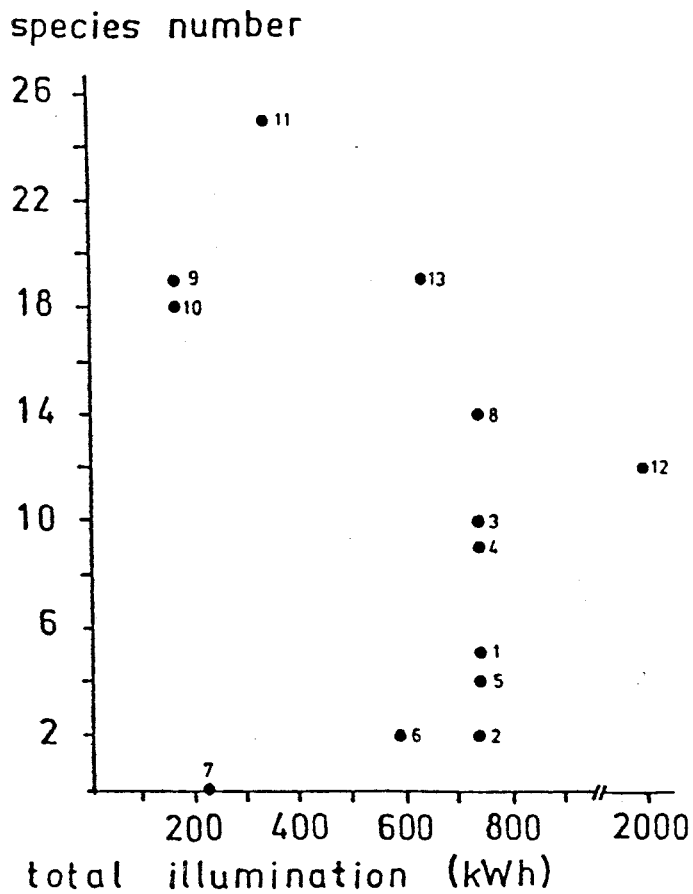


Fig.4. Total illumination between June 1983 and September 1984 and the number of species found during the first year of investigation; lamp nos. are given on the figure.

v_1 : Bulb-power		
	/range/	/value of v_1 /
	100 W	- 1
	100 - 300 W	- 2
	300 - 700 W	- 3
	700 W <	- 4

If iodine lamp is installed a multiplier of 2, if color-, high pressure mercury- or sodium bulbs are installed a multiplier of 0,5 should be used. UV lamps are out of consideration.

v_2 : Distance of the lamp and the illuminated area		
	1 m	- 3
	1 - 4 m	- 2
	4 m	- 1
	very far	- 0

v_3 : Water conditions of the illuminated surface		
	air-dry	- 1
	sometimes wet	- 2
	always wet	- 3

v_4 : Surface quality		
	plain and hard surface /stone, dripstone, concrete/	- 1
	plain and soft or hard and rough surface	- 2
	soft surface /clay, mud/	- 3

v_5 : Distance of tourists from the illuminated surface		
	touched with high probability /ground, walls of narrow passages/	- 3
	can be reached with hand	- 2
	cannot be touched but is not far from it	- 1

no tourists - 0

v_6 : Distance of staff /persons keeping the lamps in repair/ from the illuminated surface

should be touched - 3

might be touched - 2

cannot be touched but is not far from it - 1

illuminated area is very far /e.g. lamps directed to the ceiling/ - 0

v_7 : Number of cave-explorers and scientists studying the illuminated part of the cave /person \cdot year⁻¹/

0 - 0

1 - 10 - 1

10 - 50 - 2

50 < - 3

v_8 : Number of activities in the area in a year /e.g. constructions, cave renovation, film shooting etc./

0 - 0

1 - 1

2 - 3 - 2

3 < - 3

v_9 : Distance from other lamps with existing green covering /i.e. when new cave parts are opened to the public or new lamps are installed/; value of v_9 should be determined taking the relative distances of the given cave into consideration

There is no developed lamp flora in the cave - 0

developed lamp-flora is far - 1

developed lamp-flora is in middle distance - 2

developed lamp-flora is near - 3

- v_{10} : Illumination history of the surface
- | | | |
|--|---|---|
| never illuminated | - | 0 |
| illuminated by slight, scattered light of an other lamp or had been well illuminated in the past | - | 1 |
| rarely well illuminated | - | 2 |
| illuminated in the recent past | - | 3 |
- v_{11} : Other anthropogenic fertilization danger /i.e. mushroom cultivation, rubbish, cave experiments, other allogenic material, etc./; value of v_{11} runs from 0 to 5 and should be judged by a competent expert.
- v_{12} : Other non-anthropogenic fertilization danger /subterranean streams, non-filtered or badly filtered dropping or seeping water, air-draught, animals, etc./; value of v_{12} runs from 0 to five, see also v_{11} .

Based on the above mentioned variables the index of endangerment /E/ can be estimated as

$$E = v_1 \cdot v_2 + \sum_{v=3}^{12} v_1$$

Our results concerning the development of green coverings of the experimental lamps were tested by means of this index. The main results can be summarized as:

- Macroscopic green patches had not appeared within one year after installation if E did not reach 17, but had appeared within a half year if E was higher than 18.
- If $E < 14$, moss protonemata had not developed within a year, if E was between 14 and 18, they appeared in half to one year and if $E > 18$, moss protonemata developed within a half year.
- Correlation coefficient / $r = +0,79$; $P < 1\%$ / between the number of species of algae and E is high /Fig. 5./.

number of species

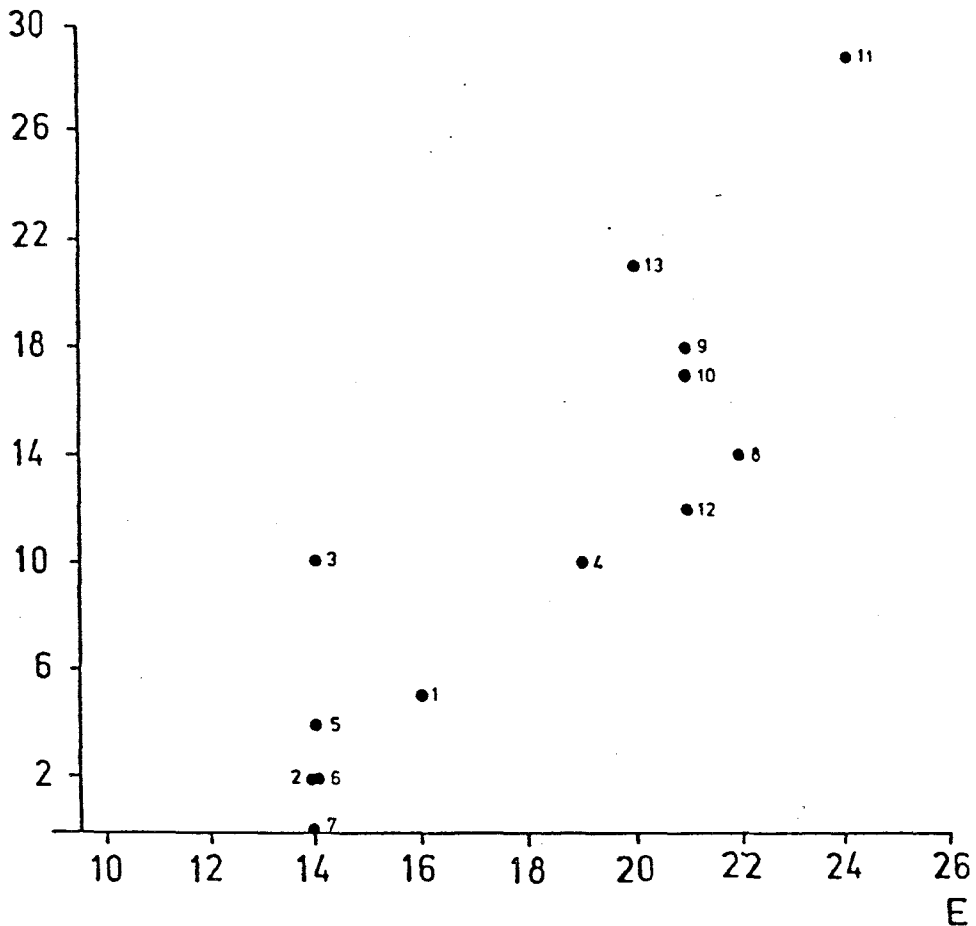


Fig. 5. Index of endangerment /E/ and the number of species at the different lamps; lamp nos. are given on the figure.

Our results clearly prove, that in the early stages of lamp-flora development, the fertilization danger is more important than the ecological background /light and water conditions/ although it must play a prior role in controlling the final stage of development.

Although the index of endangerment proved to be very efficient in describing the development of lamp-flora in our experiments it can be modified on numerous points e.g. a minimum amount of light is necessary /it is about 30-50 lux for

incandescent lamp according to Dobat 1966/, the air must not be completely dry, the mode of light operation /cf. Hazslinszky 1985/ might be taken into consideration, etc.

In connection of the index some theoretical questions are also arising, namely: in early stages of succession stochastic processes are characteristic, but the description with E is clearly deterministic. However, controversies like this are very common in biological modelling, and such approximations can be made if the results are in good agreement with the observations.

The index of endangerment can be used in every cases when the development of lamp-flora is to be expected, e.g. new caves are equipped with lighting system /for touristical, scientific or medical purposes/; new parts of previously illuminated caves are opened to the public; after removing green covers from the lamp-areas; after renovation of the lighting system, etc. The main advantages of E are the simplicity and the operativity: the single danger-sources $/v_1 \dots v_n/$ can be decreased or even eliminated step by step, and in most of the cases without large financial bases /e.g. modifications in lamp placing, in direction of main traffic, etc./, and, in the end, a better protection of caves can be reached this way.

REFERENCES

1. CLAIR, L.L. St. and RUSHFORTH, S.R. /1976/: The diatoms of Timpanogos Cave National Monument, Utah. - Amer.J. Botany 63: 45-49.
2. CLAIR, L.L. St., RUSHFORTH, S.R. and ALLEN, J.V. /1981/: Diatoms of Oregon Caves National Monument, Oregon. - Great Basin Naturalist 41: 317-332.
3. DOBAT, K. /1966/: Die Kryptogamenvegetation der Höhlen und Halbhöhlen im Bereich der Schwäbischen Alb. - Abh. Karst. Höhlenkunde, Reihe E /Botanik/, 3.
4. HAJDÚ, L. /1977/: The flora of Hungarian caves. - Karszt és Barlang /Budapest/, Special Issue 1977: 39-42.

5. HAJDU, L. and ORBÁN, S. /1982/: Über die grüne Pflanzenwelt der Baradla-Höhle bei Aggtelek /Ungarn/. - *Studia Botanica Hungarica* 15: 5-17.
6. HAZSLINSZKY, T. /1984/: Növényesedés elleni védekezési terv az István- és Anna-barlangban. Plans for the defense against lamp-flora in the István- and Anna-caves . - *Nemzetközi Lámpaflóra Kollokvium*, Budapest, 1985. p.
7. KÁRPÁT, J. and TAKÁCS-BOLNER, K. /1983/: Pál-völgyi-barlang Magyarország barlangtérképei [Cave maps of Hungary] 3. - Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, Budapest /in hungarian/
8. KORDOS, L. /1984/: Magyarország barlangjai. [The caves of Hungary] . - Gondolat Könyvkiadó, Budapest /in hungarian/
9. TAKÁCS-BOLNER, K. /1981/: Új feltárások a Pál-völgyi-barlangban /New excavations in the Pál-völgyi Cave/. - *Karszt és Barlang* 1980/2/: 87-92.

LÁMPAFLÓRA-KISÉRLET A PÁL-VÖLGYI-BARLANGBAN

/Összefoglalás/

A Pál-völgyi-barlang három, a turisták által nem látogatott területén /Előcsarnok, Kőhid-terem, Öt barát-folyosó/ összesen 13 db különböző lámpát helyeztünk el. Fényüket /egy kivétellel/ korábban meg nem világított felületekre irányítottuk. 1983 júliusa /ekkor kezdtük a kísérletet/ és 1984 májusa között 5 alkalommal vettünk a megvilágított felületekről kaparékot steril körülmények között. A mintákban 2-3 hónapos szobahőmérsékleten és természetes fényviszonyok mellett történt tenyésztés után meghatároztuk az algafajokat ill. feljegyeztük a mohaprotonéma fonalak meglétét vagy hiányát. Késői juvenilis fázisban lévő mohanövényeket 1984 szeptemberében gyűjtöttünk. A kísérlet egy éve alatt mindhárom mintaterületen nőtt a fajszám, a legintenzívebb növekedést az Öt-barát-folyosón találtuk, a leggyérebbet az Előcsarnokban. Összesen 41 alga /11 Cyanophyta, 11 Xanthophyceae, 9 Bacillariophyceae, 10 Chlorophyta/ és 5 lombosmoha faj fordult elő a mintákban. Mivel a florisztikai eredményeket az egyes lámpák fényerejével ill. a megvilágítás

időtartamával összevetve semmilyen összefüggést nem találtunk, a kísérletek eddigi legfőbb tapasztalata, hogy a lámpaflóra szukoesszió kezdeti szakaszában a betelepülés mértékét nem egyedül az ökológiai paraméterek /fényviszonyok, a felszín minősége, vizellátottsága/ határozzák meg, sőt jelentőségük eltörpül a fertőzésveszély különböző összetevőjéhez képest. Mivel ez utóbbiak kvantifikálására eddig nem volt módszer, kidolgoztuk egy ún. veszélyeztetettségi indexet, mely az ökológiai paramétereket és a fertőzésveszély egyes összetevőit is tartalmazza. Ebben a következő változókat vettük figyelembe:

- v_1 : az izzó fényereje;
- v_2 : a lámpa távolsága a megvilágított felületről;
- v_3 : a felszín nedvessége;
- v_4 : a felszín minősége;
- v_5 : a turista csoportok viszonya /távolsága/ a megvilágított felülethez;
- v_6 : a kezelőszemélyzet viszonya /távolsága/ a megvilágított felülethez;
- v_7 : a területen járó barlangászok és kutatók évenkénti száma;
- v_8 : a területen végzett munkák /filmforgatás, járatkarbantartás, stb./ évenkénti száma;
- v_9 : az adott lámpa távolsága a barlangban található egyéb olyan lámpáktól, melyeknek kialakult lámpaflórája van;
- v_{10} : megvilágítási előzmény;
- v_{11} : egyéb antropogén fertőzésveszély /gombatenyészet, szemét, barlangi kísérletek, egyéb behurcolt anyag stb./;
- v_{12} : egyéb, nem antropogén fertőzésveszély /barlangi patak, nem vagy alig szűrt felszíni víz csepegése, huzat, állatok stb./.

A fenti változókhoz azok tartományait figyelembe véve értékeket rendeltünk, melyek segítségével a veszélyeztetettségi index /E/ a következőképp kalkulálható:

$$E = v_1 \cdot v_2 + \sum_{v=3}^{12} v_1$$

Kísérletsorozatunk eredményeit E felhasználásával tesztelve az alábbi eredményeket kaptuk:

1. Szabad szemmel látható zöld foltok nem jelentek meg egy éven belül, ha E értéke 17-nél nem volt nagyobb, viszont már fél éven belül megjelentek, ha 18-nál nagyobb volt.
2. Ha E kisebb, mint 14, mohaprotonéma fonalak nem fejlődtek ki egy év alatt sem, ha 14 és 18 közötti, akkor fél-egy éven belül megjelentek, ha 18-nál nagyobb, úgy már fél éven belül.
3. E és a fajszám között szoros pozitív, lineáris korrelációt találtunk $r = + 0.79$, $P < 1\%$.

Az E index segítségével előrejelezhető egy-egy megvilágított barlangrész veszélyeztetettsége, s a gyakorlati barlangvédelemben a módszert akár azonnal alkalmazni lehet. Egyszerűsége mellett operativitása kiemelendő: az egyes változók $v_1 \dots v_n$ értékeinek koncepciózus csökkentésére /pl. a turistautak kismértékű áthelyezése ahol lehet, óvatosság az izzócseréknél, a lámpák irányultságának kismértékű változtatása, a barlangi munkák racionalizálása stb./ törekedve E is csökkenthető, mellyel alapvető lépést tehetünk a lámpaflórák kialakulási idejének növelése felé. Az index alkalmazását nemcsak új barlangok megnyitása esetén ajánljuk, hanem új járatok kivilágítása, új világitótestek elhelyezése, a világitórendszer korszerűsítése esetén is, vagyis mindig, amikor steril vagy tisztított barlangi képződményeken a növények megjelenése várható.

Ábra- és táblázatszövegek

1. ábra. A Pál-völgyi-barlang térképe /Kárpát és Takács-Bolner 1983 nyomán/; ●: a lámpák helye és száma; I: a turisták által bejárt útvonal; II: a XX. század elején feltárt részek; III: a 80-as években feltárt részek.

2. ábra. Különböző növénycsoportok megjelenése a kísérleti lámpák által megvilágított felületen.

I. algák jelenléte csak mikroszkóposan mutatható ki;

II. algák + mohaelőtelep-növedék, jelenléte csak mikroszkóposan mutatható ki;

III. szabad szemmel látható zöld foltok /algák + mohaprotonéma fonalak/;

IV. szabad szemmel látható zöld foltok /csak algák/;

V. szabad szemmel látható zöld foltok /algák + mohaprotonéma fonalak + fiatal mohanövények/;

VI. szabad szemmel látható zöld foltok /algák + mohaprotonéma fonalak + fiatal mohanövények + páfrány előtelepek/.

3. ábra. A fajszám változása a Pál-völgyi-barlang három kísérleti területén 1983 június és 1984 május között.

4. ábra. Az 1983 június és 1984 szeptember közötti összes megvilágítás /kWh/ és az első év alatt talált fajok száma az egyes kísérleti lámpáknál/●/.

5. ábra. A veszélyeztetettségi index /E/ és a fajszám az egyes kísérleti lámpáknál /●/.

LAMPENFLORA-EXPERIMENT IN DER PÁL-VÖLGYI-HÖHLE

/Zusammenfassung/

In der Höhle "Pál-völgyi-barlang" /Budapest, Ungarn/ wurden in drei, für die Besucher nicht erschlossenen Teilen /"Előcsarnok", "Kőhid-terem", "Öt barát-folyosó"/ insgesamt 13 verschiedene Lampen installiert. Ihr Licht wurde /mit einer Ausnahme/ auf früher nicht beleuchtete Flächen gerichtet. Zwischen Juli 1983 /damals begannen wir mit dem Versuch/ und Mai 1984 kratzten wir fünfmal unter sterilen Verhältnissen Muster von den beleuchteten Felswänden ab. Diese Muster wurden dann 2-3 Monate bei Zimmertemperatur und natürlichen Lichtverhältnissen ausgesetzt. Nachher bestimmten wir die Algenarten und beobachten bzw. notierten das Vorhandensein oder den Mangel der Moosprotonema-Fäden. Die Moospflanzen, die in der spätjuvenilen Phase waren, sammelten wir im September 1984. Im Jahre des Versuches vermehrte sich die Artenzahl in allen drei Teilen. Die größte Vermehrung fanden wir im Gang "Öt barát-folyosó", die geringste in "Előcsarnok". Insgesamt kamen in den Muster 41 Algentaxen /11 Cyanophyten, 11 Xanthophyceae, 9 Bacillariophyceae, 10 Chlorophyten/ und 5 Laubmossarten vor. Da die flo-

ristischen Ergebnisse keinen Zusammenhang mit der Lichtstärke der Lampen, bzw. mit der Belichtungsdauer zeigten, ist das wichtigste Ergebnis der Versuche, dass das Mass der Verbreitung im Anfangsstadium der Lampenflora-Sukzession nicht allein durch die ökologischen Parameter /Lichtverhältnisse, Beschaffenheit und Bewässerung der Oberfläche/ bestimmt wird. Ihre Bedeutung ist sehr gering im Verhältniss zu den verschiedenen Komponenten der Infizierungsgefahr. Nachdem für die Kvantifizierung der Letzteren bisher keine Methode bestand, entwickelten wir einen sog. Gefährdungsindex, der die ökologischen Parameter und die einzelnen Komponente der Infizierungsgefahr beinhaltet. In diesem Index berücksichtigten wir die folgenden Parameter:

- v_1 : Lichtstärke der Lampe;
- v_2 : Die Entfernung der Lampe von der beleuchteten Fläche;
- v_3 : Die Feuchtigkeit der Fläche;
- v_4 : Die Beschaffenheit der Fläche;
- v_5 : Die Entfernung der Besuchergruppen von der beleuchteten Fläche;
- v_6 : Die Entfernung des Personals von der beleuchteten Fläche;
- v_7 : Die Zahl der Höhlenforscher, Wissenschaftler, die die Höhlenstrecke betreten;
- v_8 : Jährliche Zahl der in der Höhlenstrecke fortgeführten; Arbeiten /Filmdrehung, Instandhaltung usw./;
- v_9 : Die Entfernung der fraglichen Lampe von anderen Lampen in der Höhle, wo Lampenflora entwickelt ist;
- v_{10} : Die vorige Beleuchtung;
- v_{11} : Die sonstige antropogene Infizierungsgefahren /Pilzsucht, Mist, Höhlenexperimente, verschiedenes eingeschlepptes Material/;
- v_{12} : Die sonstige nicht antropogene Infizierungsgefahren /Höhlenbach, un- oder schwachfiltriertes Tropfwasser von der Oberfläche, Luftzug, Tiere usw./.

Zu obigen Parametern, bei denen wir auch ihren Bereich in Betracht nahmen, stellten wir Werte fest, mit denen der Ge-

Gefährdungsindex /E/ folgenderweise kalkuliert werden kann:

$$E = v_1 \cdot v_2 + \sum_{v=3}^{12} v_1$$

Die Ergebnisse unserer Versuchsreihe getestet mit Benutzung des Gefährdungsindex /E/ sind Folgende:

1. Innerhalb eines Jahres erschienen keine mit freien Augen sichtbaren grüne Flecke, wenn der Wert von E nicht grösser als 17 war, dagegen erschienen sie schon innerhalb eines halben Jahres, wenn E grösser als 18 war.
2. Wenn E kleiner als 14 war, entwickelten sich Moosprotonemafäden auch innerhalb eines Jahres nicht. Wenn E zwischen 14 und 18 war, dann erschienen sie innerhalb eines halben und ganzen Jahr; wenn E grösser als 18 war, dann erschienen sie innerhalb eines halben Jahres.
3. Zwischen E und der Artenzahl fanden wir eine enge positive lineare Korrelation / $r = + 0.79$, $P < 1\%$ /.

Mit Hilfe des E-Index es kann die Gefährdung eines beleuchteten Höhlenteils im voraus gezeigt werden und deshalb ist es möglich, diese Methode beim praktischen Höhlenschutz gleich anzuwenden. Neben ihrer Einfachheit ist ihre Operativität hervorzuheben: durch die Verminderung der Parameter / $v_1 \dots v_1$ / /zB. kleinere Änderungen der Fahrwege, Vorsicht beim Austausch der Glühlampen, kleine Änderung der Beleuchtungsrichtung, Rationalisierung der Höhlenarbeiten usw./ kann auch E vermindert werden. Damit können wir eine grundsätzliche Schritte zur Verlängerung der Entwicklungszeit der Lampenflora machen. Wir empfehlen die Anwendung des Indexes nicht nur beim Ausbau neuer Höhlen sondern auch bei der Beleuchtung neuer Gänge oder Erneuerung schon vorhandener Beleuchtungssysteme, also immer, wenn das Erscheinen einer Lampenflora an sterilen oder gereinigten Höhlenflächen zu erwarten ist.

Zeichenerklärung

Fig. 1. Der Plan der Höhle "Pál-völgyi-barlang" /Nach Kárpát und Takács-Bolner 1983./; ●: Ort und Nummer der Lampen;

I.: der Führungsweg; II.: die am Anfang der XX. Jahrhundert entdeckte Teile; III.: die im 80er Jahren entdeckte Teile.

Fig. 2. Das Erscheinen der verschiedenen Pflanzengruppen auf der mit den Versuchslampen beleuchteten Flächen

I. Die Anwesenheit der Algen ist nur mikroskopisch beweisbar;

II. Die Anwesenheit der Algen + Moosvorkeimgewächs ist nur mikroskopisch beweisbar;

III. Mit freien Augen sichtbare grüne Flecke /Algen + Moosprotonemafaden/;

IV. Mit freien Augen sichtbare grüne Flecke /nur Algen/;

V. Mit freien Augen sichtbare grüne Flecke /Algen + Moosprotonemafaden + junge Moosplanze/;

VI. Mit freien Augen sichtbare grüne Flecke /Algen + Moospflanzen + Farnevorkeime/.

Fig. 3. Die Änderung der Artenzahl auf dem drei Versuchsbereich der Höhle "Pál-völgyi-barlang" zwischen Juni 1983 und Mai 1984.

Fig. 4. Die Gesamtbeleuchtung /kWh/ zwischen Juni 1983 und September 1984 und die während des ersten Jahres gefundene Artenzahl bei den einzelnen Versuchslampen.

Fig. 5. Der Gefährdungsindex /E/ und die Artenzahl bei den einzelnen Versuchslampen.