

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Dr. NAGY PÁL

**VESZPRÉMI EGYETEM
GEORGIKON MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
KESZTHELY**

2003

VESZPRÉMI EGYETEM
GEORGIKON MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
Növényvédelmi Intézet
Növénykórtani és Növényvirologiai Tanszék

Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

iskolavezető:

Dr. Horváth József
az MTA rendes tagja

témavezető:

Dr. habil. Fischl Géza
mezőgazdasági tudomány kandidátusa

A FÉNY ÉS A KISFREKVENCIÁS
ELEKTROMÁGNESES TEREK HATÁSA
MIKROSZKÓPIKUS GOMBÁKRA

Készítette:

Dr. NAGY PÁL

KESZTHELY

2003

A FÉNY ÉS A KISFREKVENCIA ÉS ELEKTROMÁGNESES TEREK HATÁSA MIKROSZKÓPIKUS GOMBÁKRA

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Dr. Nagy Pál

Készült a Veszprémi Egyetem
Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskolája keretében

Témavezető: Dr. habil. Fischl Géza
Elfogadásra javaslom (igen/nem).
aláírás

A jelölt a doktori szigorlaton 100 %-ot ért el.
Keszthely, 2002. november 29.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve:..... igen / nem
.....
aláírás

Bíráló neve:..... igen / nem
.....
aláírás

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján %-ot ért el.
Keszthely, 2003.

.....
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése:.....

.....
az EDT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

1. Kivonatok	5
1.1. Magyar nyelvű kivonat	5
1.2. Angol nyelvű kivonat	9
1.3. Német nyelvű kivonat.....	11
2. Bevezetés.....	13
3. Irodalmi áttekintés	17
3.1. Az UV sugárzás és a látható fény hatása élő szervezetekre	17
3.2. Közvetlen hatások	23
3.2.1. Letális hatás, inaktiváció, reaktiváció	23
3.2.2. Mutagenetikai hatás	25
3.2.3 Nem morfogenetikai hatások.....	25
3.2.3.1. Spóracsírázás.....	26
3.2.3.2. Micélium növekedésre gyakorolt hatás	29
3.2.3.3. Orientációs hatások.....	30
3.2.4. Morfogenetikai hatás.....	30
3.2.4.1. <i>Myxomycota</i> törzs.....	34
3.2.4.2. <i>Oomycota</i> törzs.....	35
3.2.4.3. <i>Zygomycota</i> törzs.....	35
3.2.4.4. <i>Ascomycota</i> törzs.....	36
3.2.4.5. <i>Basidiomycota</i> törzs.....	40
3.2.4.6. <i>Deuteromycota</i> törzs	41
3.2.5. Spóraszétszóródásra gyakorolt hatás	54
3.2.6. Citológiai és biokémiai hatások.....	55

3.3 Közvetett hatások	57
3.4. Kisfrekvenciájú EM terek biológiai hatásai.....	58
3.4.1. EM terek molekuláris és sejtszintű hatásai.....	61
3.4.2. EM terek hatása teljes szervezetre	63
4. Anyag és módszer	67
4.1. A kísérlethez használt gombafajok.....	67
4.2. A besugárzások eszközei és módszerei	68
4.3. A mágneses kezelések eszközei	69
4.4. A kísérletek leírása	71
4.4.1. Konídium csíráztatási kísérletek.....	71
4.4.2. <i>Macrophomina phaseolina</i> mikroszklerócium eloszlása.....	73
4.4.3. A képződött konídiumik számának meghatározása	74
4.5. Az alkalmazott matematikai statisztikai módszerek.....	74
5. Eredmények.....	77
5.1. Fény és kisfrekvenciás mágneses terek hatása a konídium csírázásra.....	77
5.1.1. UV sugárzás hatása a konídium csírázásra.....	77
5.1.2. Statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér hatása a konídium csírázásra	82
5.2. Fény és statikus mágneses terek hatása a mikrogombák micélium növekedésre.....	85
5.2.1. UV sugárzás hatása a micélium növekedésre	85
5.2.2. UV sugárzás és sárga fény hatása a micélium növekedésre	91
5.2.3. Statikus mágneses tér hatása a micélium növekedésre	95
5.2.4. Természetes megvilágítás hatása a <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> növekedésére	97

5.3. Fény és statikus mágneses tér hatása a konídium- és szklerócium képződésre	98
5.3.1. Látható fény hatása a <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> szklerócium képzésére	98
5.3.2. 24/0, 12/12 és 0/24 órás megvilágítás hatása a <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> szklerócium képzésére	104
5.3.3. UV sugárzás és látható fény hatása a <i>Macrophomina phaseolina</i> mikroszkleróciumainak átmérőjére és eloszlására.....	106
5.3.4. Statikus mágneses tér hatása a konídium képződésre.....	111
5.4. UV sugárzás hatása <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> három egymást követő generációjára.....	114
6. Összefoglalás	117
7. Köszönetnyilvánítás	125
8. Irodalomjegyzék	127
9. Az értekezés tézisei.....	139
9.1. Magyar nyelvű tézispontok.....	139
9.2. Angol nyelvű tézispontok	143

1. KIVONATOK

1.1. Magyar nyelvű kivonat

Munkánk során az abiotikus környezeti tényezők közül a fény (látható és UV) és a korábban csak elvétve említett statikus és kismagfrekvenciájú mágneses terek növénypatogén mikroszkópikus gombák konídium csírázására, micélium növekedésére, valamint sporulációjára gyakorolt hatását vizsgáltuk in vitro kísérletekben. A vizsgálatok célja olyan összefüggések és adatok feltárása, melyek önmagukban, vagy további célirányos kutatómunka alapjaiként felhasználhatók a gomba betegségek előrejelzésében, növényvédelmi technológiák ezen hatásokat alkalmazó finomításában, vagy esetleg kifejezetten ezen hatásokat alkalmazó technológiák kidolgozásában.

Konídium csírázási kísérleteket *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* gombafajon, micélium növekedési kísérleteket *Alternaria alternata*, *Curvularia inaequalis*, *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, *Trichoderma* sp. és *Sclerotinia sclerotiorum* gombafajon továbbá sporulációval kapcsolatos vizsgálatokat *Alternaria alternata*, *Curvularia inaequalis*, *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina* és *Sclerotinia sclerotiorum* gombafajon végeztünk.

A besugárzásokat vörös, sárga, zöld, kék, közeli UV és UV fénnel végeztük. Az UV fénnel történő besugárzáshoz 125 W-os Hg gőz töltésű lámpát, a közeli UV sugárzáshoz un. fekete fényű lámpát használtunk, amely lényegében csak a 300-400 nm hullámhossz tartományban sugároz. A sárga fénnel történő megvilágításhoz Na

lámpát, a többi hullámhossz tartományban 40 W-os izzólámpákat használtunk, amelyek csak az ismert hullámhossz tartományt jelentő színeket bocsátották ki. A megvilágítás erősségét PU 150 típusú fotométerrel, a fényintenzitást pedig LI-COR 185B típusú radiométerrel mértük. A különböző dózisok beállítására a besugárzás időtartamát változtattuk.

A mágneses tér hatásainak vizsgálatához egy-egy 0,5 m hosszú, 10 cm belső átmérőjű, valamint egy 4,7 cm belső átmérőjű tekercset (szolenoidot) készítettünk. Az előbbiben 6 vagy 9 cm átmérőjű PETRI csészék, az utóbbiban pedig 4 cm átmérőjű, speciálisan erre a célra készült PETRI csészék helyezhetők el. Mindkét tekercs 1,6 mm átmérőjű zománcozott rézhuzalból készült, menetsoronként 300 menettel, a menetsorok száma hat, vagyis az összes menetszám 1800. A 2 mm² keresztmetszetű rézhuzal maximálisan 4 A erősségű árammal terhelhető, ami 18 mT indukciót jelent. 5 mT fölött azonban a tekercseket hűteni kell. Ha szükséges volt, akkor erre a célra ventilátort használtunk. A mágneses indukció változtatása az áramerősség változtatásával történt.

Az említett gombafajok konídium csírázására az UV sugárzás hasonló módon, de egészen különböző mértékben hatott. A *Curvularia inaequalis* már viszonylag kis dózis hatására elvesztette csírázókéességét, ezen dózis 16-szorosánál az *Alternaria alternata* konídiumainak csírázókéessége még mindig 30 % körüli érték. A két gombafaj konídiumai mágneses térben történő csírázáskor is mintegy "ellentétesen" viselkednek. A *Curvularia inaequalis* csírázását az 50 Hz-es sinusos mágneses tér stimulálja, míg a statikus mágneses tér gátolja.

Az *Alternaria alternata* csírázását pedig inkább az 50 Hz-es sinusos mágneses tér gátolja, a statikus tér pedig stimulálja.

Az UV-C sugárzás micélium növekedésre kifejtett hatásáról megállapítható, hogy 30 perc időtartamú, $0,9 \text{ mW/cm}^2$ intenzitású ($1,62 \text{ J/cm}^2$ dózisú) UV-C sugárzás mind a hat vizsgált gombafaj micélium növekedését mintegy 48 órára gátolja, s ez a gátlás további 48 óráig fenntartható gombafajonként változó, de a kezdetinél lényegesen alacsonyabb, úgy is mondhatnánk "emlékeztető" dózisokkal. Az UV-C sugárzás micélium növekedésre kifejtett hatása kismértékben csökkenthető sárga fénnel történő megvilágítással. Statikus mágneses tér micélium növekedésre kifejtett hatásával kapcsolatban megállapítottuk, hogy mind a hat vizsgált gomba micéliumának növekedési sebessége átlagosan csak mintegy 90 %-a a kontroll növekedési sebességének.

A látható fény és az UV-C sugárzás hatásaival kapcsolatban kiemelhető, hogy *Sclerotinia sclerotiorum* gombafaj összes képződött szklerócium tömege kék fénnel történő megvilágítás hatására lényegesen kisebb, mint bármely más esetben, beleértve a kontrollt is. A többi esethez képest kis szklerócium össztömeg úgy alakult ki, hogy kevés, de nagy tömegű szklerócium képződött. Ugyancsak az UV-C sugárzás, valamint kék fénnel történő megvilágítás lényegesen befolyásolja a *Macrophomina phaseolina* mikroszkleróciumainak számát, továbbá befolyásolja ezek méret szerinti eloszlását. A statikus mágneses tér *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* konídium képződésére erős stimuláló hatást fejt ki. Ennél a két gombafajnál a képződött konídiumok száma mintegy kétszerese a kontrollban képződött

konídiumok számának. *Fusarium oxysporum* konídium képződésére a statikus mágneses tér erős gátló hatást fejt ki, a képződött konídiumok száma csak mintegy 20 %-a a kontrollban képződött konídiumok számának.

1.2. Angol nyelvű kivonat - ABSTRACT

The effect of light and low frequency electromagnetic fields on microscopic fungi

The author has studied the effect of visible and UV-C radiation as well as the static and 50 Hz frequency sinusoidal magnetic fields on the germination, mycelial growth and sporulation of plant pathogenic fungi in in vitro experiments. The purpose of the experiments was to explore such relations and data which can be used by themselves, or as the basis for further research work for the prediction of plant diseases caused by fungi and in the development of new plant protection technologies applying these effects.

The most important statements of the dissertation are as follows:

- UV-C radiation strongly inhibits the germination of the conidia of *Curvularia inaequalis* while the germination of *Alternaria alternata* is slightly inhibited.
- Static and 50 Hz frequency magnetic fields are able to strongly inhibit or strongly stimulate the germination of *Curvularia inaequalis* and that of *Alternaria alternata*.
- The UV-C radiation of 1,62 J/cm² dose inhibits the mycelial growth of the tested six microscopic fungi for 48 h.
- The static magnetic field decreases the mycelial growth speed by about 10-15 percent.
- The total sclerotium mass developed in *Sclerotinia sclerotiorum* culture illuminated by blue light decreases significantly.

- The number of microsclerotia developed in *Macrophomina phaseolina* culture irradiated by blue light and UV-C radiation increases significantly.
- The number of developed conidia of *Curvularia inaequalis* and *Alternaria alternata* cultures growth in static magnetic field increases and in *Fusarium oxysporum* cultures decreases significantly.

1.3. Német nyelvű kivonat – AUSZUG

Die Auswirkung vom Licht und vom den elektromagnetischen Feldern mit Niederfrequenz auf die mikroskopischen Pilze

Während der Arbeit wurde die Auswirkung von dem sichtbaren Licht und der UV-C Strahlung, weiterhin die von statischen und niederfrequenten Magnetfeldern auf das Konidienkeimen, das Miceliumwachstum und die Sporulation von pflanzenpathogenen Pilzen in Experimenten in vitro untersucht. Das Ziel der Untersuchungen war, Zusammenhänge und Daten aufzudecken, die in sich selbst oder als Grund für weitere Forschungen zur Voraussage der durch Pilze verursachten Krankheiten oder eventuell zur Ausarbeitung von diese Zusammenhänge und Daten verwendeten Technologie benutzt werden können.

Die wichtigsten Feststellungen der Dissertation:

- Die UV-C Strahlung hindert die Keimung von *Curvularia inaequalis* Konidien wesentlich, aber die von *Alternaria alternata* Konidien viel weniger.
- Die statischen magnetischen Felder und die magnetischen Felder mit 50 Hz Frequenz können die Keimung von *Curvularia inaequalis* und *Alternaria alternata* Konidien erheblich stimulieren oder verhindern.
- Die UV-C Strahlung mit $1,62 \text{ J/cm}^2$ Dosis kann das Miceliumwachstum der Testpilze für etwa 48 Stunden hindern.

- Die Geschwindigkeit des Miceliumwachstums von den Testpilzen wird durch das statische Magnetfeld um etwa 10-15 % verringert.
- Die Gesamtmasse von Sklerotium in der durch blaues Licht bestrahlten Kultur *Sclerotium sclerotinia* nimmt significant ab.
- Auf die Wirkung des blauen Lichtes und der UV-C Strahlung nimmt die Zahl der Mikrosklerotien der Kultur *Macrophomina phaseolina* significant zu.
- Die Zahl der entstandenen Konidien nahm in den Kulturen *Curvularia inaequalis* und *Alternaria alternata* in statischem Magnetfeld wesentlich zu, dagegen die in der Kultur *Fusarium oxysporum* nahm wesentlich ab.

2. BEVEZETÉS

A környezeti tényezőknek az élő szervezetekre gyakorolt hatásával ma már külön tudományág, a környezeti biofizika foglalkozik. Leggyakrabban a hőmérséklet, a páratartalom, a sugárzások, valamint növények és gombák esetében a tápközeg pH-jának a hatását vizsgálják. Ismeretes, hogy a fény növényi és állati szervezetek számára mint energia- és mint információhordozó nélkülözhetetlen. Az utóbbi időben egyre intenzívebben vizsgálják az elektromágneses terek vagy sugárzások élő szervezetre gyakorolt hatását, különös figyelmet fordítva ezek rákkeltő hatására.

Nem ennyire közismert a fénynek és a különböző frekvenciájú elektromágneses sugárzásoknak a növénypatogén mikroszkópikus gombákra gyakorolt hatása. A téma kutatásának Magyarországon alig van előzménye. A szakirodalom alapján azonban megállapítható, hogy a tömlős, és főleg a konídiumos gombák sporulációjához egy bizonyos közeli UV sugárdózis szükséges. A fény mikroszkópikus gombák életfolyamataira gyakorolt hatásának vizsgálatát két tényező indokolhatja. (i) Eddigi, főleg megfigyelésekből szerzett ismereteink szerint a gombák elszaporodásának bizonyos időjárási körülmények kedveznek, pl. párás meleg vagy száraz meleg stb. Olyan időjárási viszonyok között, amikor megnő a közeli UV sugárzás intenzitása, s ezzel egy adott időtartam alatt elnyelt dózis, fokozódik a gombák sporulációja. Ez azt sugallja, hogy a gomba populációk elszaporodásában a hőmérséklet és a páratartalom mellett szerepet játszhat az UV sugárzás

intenzitása is. (ii) A meteorológiai viszonyoktól függetlenül számíthatunk arra, hogy az ózonpajzs elvékonyodásával, esetleg helyenkénti megszűnésével növekedik a közeli UV sugárzás intenzitása, ez pedig az említett egyes tömlős- és konídiumos gombafajokat a reprodukció során szelekciós előnyhöz juttathatja más élőlényekkel szemben.

Az alacsony frekvenciájú rádió- és mikrohullámú sugárzások vagy a statikus elektromos és mágneses terek biológiai hatásait az utóbbi 50 esztendőben egyre intenzívebben kutatják. Éppen ebben az időszakban a rádiófrekvenciás és mikrohullámú eszközöktől, továbbá a háztartási és ipari berendezésektől, valamint az ezeket ellátó kis- és nagyfeszültségű vezetékektől származó elektromágneses sugárzások több nagyságrenddel növelték meg a háttérsugárzás intenzitását, amely ma már komoly környezetszennyezést is jelenthet. Itt említjük meg, hogy a fokozott Naptevékenység és a meteorológiai viszonyok erősen befolyásolják a statikus földi elektromos- és mágneses térerősséget (geomágneses aktivitás), amelyek hatással lehetnek élő szervezetekre. A nemzetközi szakirodalomban főleg állatkísérletekben vizsgálják a mikrohullámú sugárzás, a hálózati 50 Hz-es elektromágneses tér és a statikus mágneses tér hatását.

A fény és elektromágneses terek növénypatogén mikroszkópikus gombákra gyakorolt hatásainak részletes vizsgálata lehetővé teszi, hogy különböző növényvédelmi és biotechnológiai eljárásokban felhasználjuk a kutatások eredményeit, sőt lehetőség nyílt különböző, a fenti hatásokra alapozott eljárások kidolgozására. A gyakorlati alkalmazások terén nemcsak a fény és az elektromágneses terek „tisztá” hatásaira kell

szorítkoznunk, hanem figyelembe vehetjük ezen hatások és a hagyományos eljárások közt esetleg fellépő szinergizmust is.

A munkánk során célul tűztük ki, hogy in vitro kísérletekben az UV sugárzás és a látható fény mikroszkópikus gombák sporulációjára gyakorolt hatásán túl egyéb hatásokat is vizsgáljunk, továbbá a statikus és kisfrekvenciás elektromágneses terek, ezzel az abiotikus tényezők hatásával kapcsolatos ismereteinket bővítsük.

Ennek megfelelően vizsgáltuk:

- az UV-C sugárzás konídium csírázására gyakorolt hatását,
- statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér konídium csírázásra gyakorolt hatását,
- az UV-C sugárzás különböző gombafajok micélium növekedésére kifejtett hatását,
- statikus mágneses tér különböző gombafajok micélium növekedésre kifejtett hatását,
- UV-C és látható fény szklerócium és mikroszklerócium képződésre gyakorolt hatását,
- UV-C sugárzás és statikus mágneses tér konídium képződésre gyakorolt hatását,
- valamint UV-C sugárzás *Sclerotinia sclerotiorum* három egymást követő generációjára kifejtett hatását.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az UV sugárzás és a látható fény hatása élő szervezetekre

Az ultraibolya (UV) sugárzás az elektromágneses spektrum 10–400 nm közé eső tartománya. Mivel a Föld légköre a 200 nm–nél rövidebb hullámhosszúságú UV sugárzást elnyeli, biológiai hatások szempontjából csak a 200–400 nm közti tartomány érdekes (HARM 1980). Ezt a 200–400 nm közti tartományt a magas légköri ózonréteg képes nagymértékben abszorbeálni, így a természetes UV sugárzás biológiai hatásait az ózonréteg nagymértékben befolyásolja.

Az EM sugárzás kvantumainak, a fotonoknak az energiája a jól ismert $E=h\cdot\nu$ képlettel adható meg, ahol h a PLANCK állandó, ν pedig a frekvencia. Ez alapján a fenti hullámhossz tartományba eső fotonok energiája 6,5 eV¹–3,3 eV tartományba esik. Az UV foton gerjesztési energiája jóval nagyobb, mint a molekulák termikus energiája fiziológiai hőmérsékleten, amely csak 0,026 eV, ellentétben a 3,3–6,5 eV–al. Jóllehet a fotonenergia a biológiailag hatásos tartományban csak kétszeresére növekszik, különböző energiájú, azonos számú beeső foton több nagyságrenddel különböző biológiai hatást eredményezhet.

A nukleinsavak és a legtöbb protein abszorpciós maximuma 300 nm alatt van, és csak nagyon keveset abszorbeálnak 300 nm felett. Ezen oknál fogva az UV spektrumot az alábbi két tartományra szokás osztani: közeli UV tartomány 300–400 nm, távoli UV tartomány 300 nm alatt. HARM (1980) munkájában a proteineken és a nukleinsavakon kívül

¹ 1 eV energiára tesz szert egy $1.6 \cdot 10^{-19}$ C töltésű elektron, ha 1V feszültségkülönbségű

számos biológiai makromolekula abszorpciós spektruma megtalálható. A biológiailag hatásos UV tartományt (kezdetben főleg a fény emberi bőrre gyakorolt hatása alapján) az alábbi tartományokra is szokták osztani: UV-A: 400–315 nm, UV-B: 315–280 nm, UV-C: < 280 nm.

A Föld története során mintegy 3,5 milliárd évvel ezelőtt, az élet kialakulásakor a földfelszín a légkör akkori összetétele folytán ki volt téve az erős mutagenetikus és letális hatást kiváltó 200 nm-nél rövidebb hullámhosszú UV sugárzásnak is. Jellemző adat (COCKELL 2000), hogy még mintegy 2,5 milliárd évvel ez előtt is az UV-C sugárzás intenzitása mintegy $1\text{--}2\text{ W/m}^2$ volt, szemben a mai, gyakorlatilag zérusnak vehető értékkel. Hasonlóan alakult az UV-B sugárzás intenzitása is, az akkori $8\text{--}10\text{ W/m}^2$ -ről mintegy 1 W/m^2 -re csökkent a sugárzás intenzitása. Ettől az időtől számíthatjuk a zöld növények megjelenését, és ezzel együtt az O_2 , illetve O_3 koncentráció növekedését (ROZEMA et al. 1997). A DNS sérülés akciós spektruma éppen a 280–320 nm tartományban (UV-B) csökken zérusra. A jelenlegi intenzitás pedig ugyanebben a tartományban emelkedik meredeken (COCKELL és HORNECK 2001). A gombák kialakulása feltehetően erre az egy milliárd évre esik, megelőzi a zöld növények kialakulást, ezért alkalmazkodniuk kellett a letális-, és mutagén hatást okozó erős UV sugárzáshoz. A gombák fiziológiája és fejlődése nagyfokú diverzitással bír, ami valószínűleg ebben a korban gyökerezhet.

A hazai tan- és szakkönyv irodalomban nem igazán ismeretes a látható fény és/vagy az UV sugárzás gombák különböző fajaira gyakorolt hatása (ÉRSEK és GÁBORJÁNYI 1998; JAKUCS 1999). Ez alól talán csak

elektromos tér gyorsítja. Ennek megfelelően $1\text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$.

VETTER (1992) egyetemi tankönyve a kivétel, melynek gombaélettan c. fejezetében szó esik a *Coprinus congregatus* termőtest képzésének fény általi szabályozásáról.

A látható fény és az UV sugárzás sok tekintetben hat a gombák növekedésére, fejlődésére, reprodukciójára és viselkedésére (LEACH 1971). A természetben a legtöbb gomba ki van téve életsiklusának egy bizonyos része alatt egy kevés távoli UV sugárzásnak, továbbá közeli UV sugárzásnak, valamint a látható tartományba eső (400-760 nm) sugárzásnak. Ebből a tartományból különösen a kék fény (420-480 nm) gombákra gyakorolt hatásaival kell számolnunk. Ez a hullámhossz tartomány természetesen más élőlényekre is hat, és ez a hatás nem mindig a legkedvezőbb. Ezt jelzi az is, hogy 1980-ban tartott első, a kék fény hatásaival foglalkozó konferencia címe a "Kék fény szindróma" volt.

Az UV sugárzással és látható fénnyel történő besugárzás során a jelenség hullámhossztól való függése és/vagy a kritikus abszorbeáló komponens meghatározása az *akciós spektrum* meghatározása útján lehetséges (HARM 1980; SZALAY és RINGLER 1986). Az akciós spektrumhoz a következő rövid gondolatmenettel juthatunk.

Azoknak a molekuláknak az M száma, amelyek bizonyos fotoreakcióban részt vesznek az adott mintában, egyenlő az abszorbeált fotonok P_{abs} száma szorozva a reakció kvantumhatásfokával. Mivel az abszorbeált fotonok száma egyenlő az abszorbeált energia osztva egy foton energiájával, $P_{abs} = E_{abs}/h\nu = E_{abs}\lambda/hc$, ezért

$$M = \Phi \cdot E_{abs} \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \quad (3.1)$$

A λ a fény hullámhossza, h a PLANCK állandó, c a fénysebesség, E_{abs} az abszorbeált energia és Φ a kvantum hatásfok. Az abszorbeált energia homogén, közel átlátszó minta esetén a következőképpen határozható meg. Legyen kitéve a minta párhuzamos, I_0 intenzitású sugárnyalábnak. A rétegen való áthaladás után a sugárzás intenzitása

$$I = I_0 \cdot 10^{-A} = I_0 \cdot e^{-A \cdot \ln 10} \quad (3.2)$$

ahol A az abszorbancia (vagy optika denzitás). Ha a minta hatáskeresztmetszete S , és ez E energiasűrűségű sugárzásnak van kitéve, ami az intenzitás és a besugárzási idő szorzata, akkor

$$E_{abs} = (I_0 - I) \cdot S \cdot t = I_0 \cdot t \cdot (1 - e^{-A \cdot \ln 10}) \cdot S \quad (3.3)$$

$$E_{abs} = E_{in} \cdot (1 - e^{-A \cdot \ln 10}) \cdot S \quad (3.4)$$

ahol E_{in} a beeső energia. Így az abszorbeált fotonok száma

$$P_{abs} = \frac{E_{abs}}{h \cdot c} \quad (3.5)$$

Az $E_{in} = I_0 \cdot t$ egyenlet azt jelenti, hogy a beeső energia, tekintet nélkül az intenzitásra és az expozíciós időre, meghatározza a hatást. A továbbiakban nevezzük ezt a mennyiséget besugárzási dózissnak.

Közel átlátszó minta esetén, vagyis ha $A \ll 1$, akkor az $1 - e^{-A \cdot \ln 10}$ jó közelítéssel $A \cdot \ln 10 = 2,3 \cdot A$ - val egyenlő, ezért

$$E_{abs} = 2,3 \cdot E_{in} \cdot A \cdot S \quad (3.6)$$

A LAMBERT - BEER törvény szerint $A = \varepsilon \cdot c \cdot x$, ahol ε az adott anyag abszorptivitása (vagy extinkciós együtthatója) egy adott hullámhossznál, c a koncentrációja és x a réteg vastagsága. Így

$$E_{abs} = 2,3 \cdot E_{in} \cdot \varepsilon \cdot c \cdot x \cdot S = 2,3 \cdot E_{in} \cdot m \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

Minthogy $c \cdot x \cdot S$ az abszorbeáló anyag teljes tömege (m), így az anyag enységnyi tömege által az abszorbeált energia, vagy más néven az elnyelt dózis

$$D_{abs} = \frac{E_{abs}}{m} = 2,3 \cdot \varepsilon \cdot E_{in} \quad (3.8)$$

Ezután az abszorpciós spektrum fogalmához a következőképpen juthatunk, felhasználva a (3.7) képletet. Ha a közel átlátszó mintát két különböző (λ_1, λ_2) hullámhosszúságú és I_1, I_2 intenzitású fénnnyel sugározzuk be, I_1 -et és I_2 -t úgy választva, hogy azonos biológiai hatást váltsanak ki (pl. 90 %-os inaktivációt valamilyen populációban), akkor (3.1) a következő lesz

$$\frac{\Phi_1 \cdot \lambda_1}{h \cdot c} \cdot 2,3 \cdot E_{in,1} \cdot m \cdot \varepsilon_1 = \frac{\Phi_2 \cdot \lambda_2}{h \cdot c} \cdot 2,3 \cdot E_{in,2} \cdot m \cdot \varepsilon_2 \quad (3.9)$$

A lehetséges egyszerűsítések és átrendezés után az egyenlet az alábbi lesz.

$$\frac{\Phi_2 \cdot \varepsilon_2}{\Phi_1 \cdot \varepsilon_1} = \frac{\frac{1}{\lambda_2 \cdot E_{in,2}}}{\frac{1}{\lambda_1 \cdot E_{in,1}}} \quad (3.10)$$

Látható, hogy egy adott hatáshoz az $1/\lambda \cdot E_{in}$ bármely hullámhossznál arányos az ε extinkciós együtthatóval és a kvantum hatásfokkal. Így egy adott hullámhossznál $1/E_{in}$ kifejezi a beeső energia relatív (egy önkényesen választott hullámhosszra vonatkoztatott) hatékonyságát - és mert a foton energia fordítottan arányos a hullámhosszal - $1/\lambda \cdot E_{in}$ kifejezi a beeső foton relatív hatékonyságát. Ez utóbbi kifejezésnek a hullámhossztól való függését nevezik akciós spektrumnak.

Egy aktuális kísérletben önkényesen kiválaszthatunk egy λ_1 hullámhosszat, és kísérletileg meghatározzuk az $1/\lambda \cdot E_{in}$ relatív értékeit a $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ hullámhosszaknál a (3.10) egyenlet szerint. $1/\lambda \cdot E_{in}$ grafikonja λ függvényében hasonlíthat az adott hatásért felelős komponens abszorpciós spektrumára, ha teljesülnek a következő kísérleti feltételek: (1) a hatás minden hullámhossznál csak az $E_{in} = I_0 \cdot t$ beeső energiától függ, független külön - külön az I_0 -tól és a besugárzási (expozíciós) időtől (ez a BUNSEN - ROSCOE reciprocitási törvény); (2) a sugárzási energiára adott válasz különböző hullámhosszaknál ugyanolyan alakú (csak egy konstans faktorial különbözik az energia skálán), ez azt sugallja, hogy az alapvető fotoreakciók ugyanolyanok különböző hullámhosszaknál; (3) a szuszpenzió és a biológiai egység virtuálisan átlátszó minden hullámhossznál (vagy megfelelő korrekciók alkalmazhatók); (4) a Φ kvantumhatásfok független a hullámhossztól a vizsgált tartományon belül. Az (1), (2) és (3) követelmények biológiai rendszereknél nem mindig teljesülnek, a (4) követelmény pedig mindig csak feltételezés.

Az UV sugárzás és a látható fény mikroszkópikus gombákra gyakorolt hatása alapvetően két nagy csoportra osztható. Az egyik csoportba a sugárzás közvetlen hatásai, a másikba pedig a közvetett hatások sorolhatók. Ez utóbbi esetben a sugárzás megváltoztat valamilyen környezeti paramétert, s ez fejt ki valamilyen hatást a gombákra.

3.2 Közvetlen hatások

3.2.1 Letális hatás, inaktiváció, reaktiváció

A letális hatás, vagy másképpen az inaktiváció a távoli UV sugárzás hatása. Ez a legdrasztikusabb hatás, amit a fény okozhat.

Az UV sugárzás egyik leggyakrabban tanulmányozott hatása az inaktiváció, amely alatt valamely biológiai funkció megszűnését értjük. (SZALAY és RINGLER 1986). Ennél talán valamivel szűkebb értelmű az a megfogalmazás, amit HARM (1980) adott. Eszerint az inaktiváció a sejt reprodukciós képességének elvesztése. Egysejtű szervezetek, mint pl. baktériumok, egyes gombafajok vagy azok egysejtű spórái, stb. populációiban amelyek növekvő energiájú UV sugárzásnak vannak kitéve, kísérletileg megfigyelhető azon egyedek csökkenő részaránya, amelyek makroszkópiusan megfigyelhető kolóniák kialakítására képesek.

Az inaktiváció a túlélési görbével jellemezhető, amely a nem inaktiválódott egyedek arányát jelenti az UV dózis függvényében.

A túlélési görbék legegyszerűbb típusa az ún. egy találat - egy céltárgy túlélési görbe. A túlélési görbe kvantitatív meghatározásához meg kell állapítani a még aktív egyedek számának időbeli változását. Ha egyetlen találat szükséges az inaktivációhoz, akkor a még aktív egyedek számának időegység alatti megváltozása egyenesen arányos az N egyedszámmal és a sugárzás I intenzitásával.

$$\frac{dN}{dt} = -\sigma \cdot I \cdot N \quad (3.11)$$

Innen a még aktív egyedek száma az idő függvényében

$$N = N_0 \cdot e^{-\sigma \cdot I \cdot t} \quad (3.12)$$

Itt σ az inaktivációs hatáskeresztmetszet, a $D = I \cdot t$ szorzat a t idő alatt beeső energia, amelyet besugárzási dózissnak neveznek.

A fotoreaktiváció vagy röviden csak reaktiváció az inaktivációval ellentétes folyamat, azt jelenti, hogy az UV sugárzás hatására inaktiválódott funkció hosszabb hullámhosszúságú fénnel (330-480 nm) történő megvilágítás során helyreállítható (regenerálódás).

Növénykórokozó mikroszkópikus gombák UV sugárzás hatására történő inaktivációjával kapcsolatban ZSDANOVA és VASZILJEVSZKAJA (1982) végzett kiterjedt vizsgálatokat. Alapvető megállapításuk szerint az UV sugárzás gombák esetében csak nagyobb dózisoknál fejt ki gátló hatást, kisebb dózisok esetén a hatás stimuláló is lehet. A gombák, vagy ezek bizonyos részeinek az ellenálló képessége az UV sugárzással szemben viszonylag nagy, pl a konídiumok ellenálló képessége átlagosan mintegy negyvenszerese a baktériumok ellenálló képességének. A szerzők szerint a túlélési görbék alapvetően vagy exponenciális vagy szigmoid típusúak. Az exponenciális túlélési görbe a szervezet sugárzással szembeni érzékenységről, a szigmoid típusú túlélési görbe pedig a szervezet ellenálló képességéről tanúskodik. A napsugárzással azonos spektrumú, nagyintenzitású mesterséges fényforrások alkalmazásával további összetett túlélési görbéket lehet kimutatni, mint pl. az összetett exponenciális, vagy összetett szigmoid típusok. Sajnos a különböző típusú túlélési görbéket a szerzők nem hozzák összefüggésbe az inaktiváció elméletével, így ezek a görbék pusztán matematikai konstrukciók maradnak. Ezzel kapcsolatban megjegyzendő, hogy mindenfajta túlélési görbe explicit alakja megmagyarázható elméletig abból kiindulva, hogy a hatás kiváltásához hány foton abszorpciójára van

szükség. Így pl. a tiszta exponenciális túlélési görbe az ún. egyfotonos inaktiváció jellemzője, amikor egyetlen foton abszorpciója kiváltja az inaktivációt. Az összetett exponenciális túlélési görbe pedig tipikusan az ún. többfotonos inaktiváció jellemzője.

A következőkben a látható fény és az UV sugárzás mikroszkópikus gombákra kifejtett különböző típusú hatásait tekintjük át. Az egyes gombafajokra mindig az adott publikációban használt névvel hivatkozunk, jóllehet az utóbbi időben a gombarendszertan, s ezzel együtt egyes gombák nevei megváltoztak.

3.2.2. *Mutagenetikai hatás*

A mutagenetikai hatás a távoli UV sugárzás hatása. Az UV sugárzásnak főleg baktériumokra gyakorolt mutagén hatásával az 1930-as évek óta foglalkoznak a kutatók, de találhatunk utalásokat növényekre gyakorolt mutagén hatások vizsgálatára is (HARM 1980). Az UV sugárzás mikroszkópikus gombákra gyakorolt mutagén hatásáról tesz említést ZSDANOVA és VASZILJEVSZKAJA (1982). Gombák vonatkozásában a mutagén hatások nagyobb dózisoknál figyelhetők meg.

3.2.3. *Nem morfogenetikai hatások*

CARLILE (1965) megfogalmazása szerint a nem morfogenetikai hatások azok, amelynek során a fény indukálja a szervezet mozgásának vagy növekedésének irányát vagy sebességét, vagy a szervezet összetevőinek szintézisét.

Nem morfogenetikai reakciók lehetnek orientációs reakciók a fényforrás irányához képest, azaz fototaxis, fototropizmus, spóra szétszóródás, vagy nem orientációs reakciók, azaz az összetevők

szintézisének vagy a növekedési sebességnek a stimulálása vagy gátlása.

3.2.3.1. Spóra csírázás

GIVAN és BROMFIELD (1964a) a *Puccinia recondita* uredospóráinak a csírázását vizsgálta a fehér fénnel történő megvilágítás és a levegő relatív páratartalmának a függvényében. A fehér fénnel történő megvilágításhoz fluoreszcens fénycsöveket használtak. Eredményeik szerint a 100%-os páratartalmú levegőben hidratált, valamint a hidratált, majd újra kiszáritott uredospórák csírázását a fehér fény 4500 lux megvilágításnál erősen gátolta.

Ugyancsak GIVAN és BROMFIELD (1964b) *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* uredospóráinak csírázását is vizsgálta. A csírázás első két órájában 4000 lux fehér fényű megvilágítást alkalmazva a csírázási százalék erősen elmaradt a sötétben csírázókhöz képest. Hosszabb megvilágítási időket alkalmazva ez a különbség csökkent. Valószínű, hogy mindkét esetben a fehér fény valamely összetevőjének hatásáról van szó, ennek tisztázása érdekében célszerű lett volna megvizsgálni az egyes hullámhossz tartományok csírázásra kifejtett hatását.

CALPOUZOS és CHANG (1971) ugyancsak *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* csírázását vizsgálták megvilágítás hatására. A frissen összegyűjtött spórákat 5 °C-on tárolták sötétben. Közvetlenül a kísérlet előtt a spórákat 100 %-os relatív páratartalmú térbe helyezték 21-23 °C hőmérsékleten, 15 órára. Két órás besugárzás után a csírázási százalékot mérték mikroszkóposan, úgy, hogy véletlenszerűen kiválasztott három területen legalább 100 spórát vizsgáltak meg. A fényforrás fényéből a különböző

hullámhosszakat interferencia szűrővel választották ki. A standard intenzitás az agar felületen $0,8 \text{ mW/cm}^2$ volt. Három kísérletből átlagolt eredmények alapján a következőket állapították meg. 400 nm-en a csírázás gátlási százaléka 44, 419-425 nm közt 99-100%. A 450-603 nm tartományban ez az érték csak 1-5%. 651 nm-en 42%, és 699-750 nm közt 81-96% közt van. 419 nm-en az intenzitás függvényében is meghatározták a csírázás gátlási százalékot. Azt találták, hogy a $0,4\text{-}0,8 \text{ mW/cm}^2$ tartományban ez 100%, $0,2 \text{ mW/cm}^2$ esetén már csak 56 %, és $0,1 \text{ mW/cm}^2$ alatt ez az érték nem nagyobb 6%-nál.

LUCAS et al. (1975) *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* 21 különböző rasszának spóra csírázását vizsgálták megvilágítás hatására. A fehér fénnel való megvilágítás intenzitása $1,05 \text{ mW/cm}^2$ volt. A sötétben tartott spóránál mintegy 50 perccel a hidratálás után megindult a csírázás, és mintegy két óra alatt be is fejeződött. Megvilágított spórák csak öt óra múlva kezdtek csírázni, és a sötétben tartott spórák csírázási szintjét csak mintegy 14 óra múlva érték el. Megállapították továbbá, hogy az előzetesen hidratált spórák csírázási százaléka mintegy 70% sötétben, közel ugyanennyi 653 nm-es hullámhosszúságú fénnel megvilágítva. 720 nm-es megvilágítást alkalmazva a csírázási százalék csak kb. 15%, 653 nm-es és 720 nm-es megvilágítást egyszerre alkalmazva pedig kb. 40%.

STEVENS et al. (1998) azt vizsgálták, hogy a *Monilinia fructicola* által őszibarackon előidézett barnarothadás betegséget hogyan befolyásolja az UV-C sugárzás. Az eredmények azt mutatják, hogy negatív összefüggés van az UV-C dózis és a kialakuló gomba kolóniák, valamint a barnarothadás fertőzések között. Kísérleteik alapján az is

megállapítható, hogy $0,75 \text{ J/cm}^2$ UV-C dózis a gazdanövény rezisztenciáját növeli azáltal, hogy szabályozza a látens barnarothadás fertőzést. Végeredményben a fertőzés okozta veszteségek csökkentésére két magyarázat kínálkozik: (i) az UV-C sugárzás inaktiváló hatása, (ii) a gazdanövény patogénnel szembeni rezisztenciájának fokozódása. A szerzők az UV-C sugárzás előállítására 30 W névleges teljesítményű G. E. gyártmányú lámpát használtak, amelynek átlagos intenzitása $1,24 \text{ mW/cm}^2$ volt. A kísérletek során alkalmazott különböző dózisokat a besugárzási idő alkalmas megválasztásával állították be.

NIGRO et al. (1998) csemegeszőlőn a *Botrytis cinerea* által okozott tárolási veszteségeket vizsgálták, úgy, hogy a szőlőt $0,0125\text{-}0,4 \text{ J/cm}^2$ UV-C dózissal besugározták. A gombát mesterségesen oltották rá a szőlőre 0, 24, 48, 72, 96 és 144 órával a besugárzás után. Tapasztalataik szerint a besugárzás után 24-48 órával leoltott szőlőn szignifikánsan kisebb volt a károsodás, mint a besugárzás után közvetlenül leoltott szőlőn. Már $0,0125\text{-}0,05 \text{ J/cm}^2$ dózis hatásos volt. Eredményükből azt a következtetést vonták le, hogy az UV-C sugárzás növekvő rezisztenciát eredményez.

MARQUENIE et al. (2002) UV-C ($\lambda=254 \text{ nm}$ hullámhosszúságú) sugárzás hatását vizsgálták *Botrytis cinerea* és *Monilinia fructigena* konídiumainak csírázására. Mindkét gombafajt 21°C -on sötétben tartották, és a konídiumokat egy hét után izolálták. A konídium csírázás inaktiválásának vizsgálatához $0,01\text{-}1,5 \text{ J/cm}^2$ dózisokat alkalmaztak. A túlélési görbék alapján megállapítható, hogy *Botrytis cinerea* esetében 1 J/cm^2 dózis alkalmazásakor már nem találtak túlélő konídiumokat a szuszpenzióban, míg a *Monilinia fructigena* esetében a teljes

inaktivációhoz $0,5 \text{ J/cm}^2$ dózis is elegendő volt. A közleményben megadott túlélési görbével kapcsolatban megjegyzendő, hogy egy bizonyos mértékű reaktiváció feltételezésével talán a kísérleti adatokhoz való szorosabb illeszkedést is el lehetett volna érni.

3.2.3.2. *Micélium* növekedésre gyakorolt hatás

CARLILE (1965) arról tesz említést, hogy a közeg természete, amelyen a gomba növekszik erősen befolyásolhatja a fény növekedési sebességre kifejtett hatását. *Sclerotinia fructigena* növekedési sebessége agar táptalajon nagyobb, ha a tenyészet megvilágítás alatt növekedik, mint sötétben. Megemlíti ugyanakkor, hogy más feltételek mellett a sötétben tartott tenyészet növekedési sebessége némiképp nagyobb, mint a fénynek kitett tenyészeteké. A szerző végül arra a következtetésre jut, hogy ha a feltételek az optimálistól eltérnek, akkor a megvilágított tenyészetekben a növekedési sebesség csökkenése nagyobb, mint a sötétben növekvő tenyészeteké. Példaképpen megemlíthető, hogy maltóz agaron növesztett *Penicillium clavigerum* növekedési sebességét nem befolyásolja a fény. CZAPEK agaron viszont 24/0 órás fényperiódusban a növekedési sebesség kisebb, mint 12/12 órás fényperiódusban. Többféle eredmény összevetése alapján szerző a következő megállapítást teszi. Optimális feltételek alatt a “fény” metabolizmus és a “sötét” metabolizmus megközelítőleg egyenlő hatékonyságú a növekedési sebességre, az optimális feltételektől való eltávolodás viszont különbözőképpen befolyásolja ezeket a folyamatokat. Sajnos az idézett munkából nem derül ki, hogy a megfigyelések során milyen volt a

megvilágítás intenzitása, minősége (hullámhossza), vagy a megvilágítás időtartama.

3.2.3.3. Orientációs hatások

CARLILE (1965) már idézett munkájában viszonylag részletesen foglalkozik a gombák fototropizmusával. Pozitív fototropizmus figyelhető meg sok gombánál, továbbá egysejtű szerveiknél, mint pl. a sporangium tartók, konidium tartók, aszkuszok és többsejtű szerveiknél, mint pl. a korémium, a tömlősgombák peritécium nyaka és a bazidiumos gombák tönkje. Sok bazidiumos gombafajnál a tönk túlságos megnyúlása fordul elő sötétben, ami lényegében fototropizmusnak tekinthető.

A negatív fototropizmus a természetben általában ritka, megfigyelhető azonban néhány növénypatogén gomba csírázó spórái esetén. Negatív fototropizmus figyelhető meg a *Botrytis cinerea* csíra tömlőjénél, amely behatolhat a gazdanövénybe. Kimutatták a *Puccinia triticina* csíra tömlőjének negatív fototropizmusát is.

Az említett fototropizmust és a növekedési reakciókat, vagy az ugyancsak itt említhető ritmikus folyamatokat és a pigmentációt a látható spektrum kék fény felőli vége indukálja. Néhány esetben az UV sugárzás is eredményezhet ilyen hatást.

3.2.4. Morfogenetikai hatás

Az alapvető morfogenetikai hatások a reprodukcióval, szklerócium kialakulással és különböző durva morfológiai elváltozásokkal kapcsolatosak, beleértve a spórák, a spóratartók morfológiáját és a zónázottságot (LEACH 1971).

A látható vagy UV fény morfogenetikai hatása alatt TAN (1978)

szerint az értendő, hogy a fény indukálja vagy gátolja a szervezet kialakulását. Ilyen morfogenetikai reakciók lehetnek a spóra csírázásban, az ivaros és ivartalan szaporodásban, esetleg szklerócium kialakulásában megnyilvánuló reakciók. Fontos megfigyelés, hogy nagyon hasonló fajok, vagy ugyanannak a fajnak különböző izolátumai különbözőképpen reagálhatnak a fényre. Ugyancsak nem szokásos, hogy a fény mind stimuláló, mind gátló hatást kifejthet.

Az UV sugárzás és a látható fény leggyakrabban tanulmányozott hatásai a morfogenetikai hatások. Általánosságban a következőkről lehet szó (Leach 1971). (1) A sporuláció indukciója. Ezen belül is beszélhetünk (i) a fény minőségéről, azaz, a jelenség hullámhossztól való függéséről; (ii) a fény intenzitásáról és a dózistról. Általánosságban említhető, hogy a sugárzási energia egy bizonyos minimális dózisa (küszöb dózis) szükséges a sporuláció indukciójához, és ez a küszöb dózis hullámhossz függő. Ha a gombát stimuláló hullámhossznak tesszük ki alacsony dózissal nem következik be sporuláció. Növelve a dózist, a küszöbérték felett megkezdődik a sporuláció. A dózis további növelése növekvő sporulációt eredményez, egy bizonyos pontig, amelynél a molekulafizikai reakciók feltételezhetően telítésbe mennek, és a dózis további növelése nem fog hatást kifejteni a sporulációra. A sugárzás stimuláló hullámhosszai, amennyiben nagyon nagy dózisban alkalmazzuk, átcsaphatnak a sporulációt gátló hatásba. (iii) Un. "egynapi sporulátorok". Sok fényérzékeny gomba bőségesen sporulál, amikor folyamatos megvilágításnak van kitéve, mások képtelenek spórát érlelni, hacsak a fényt nem követi egy bizonyos sötét periódus. Azokat a gombákat, amelyek ez utóbbi tulajdonságot mutatják, "egynapi

sporulátor"- nak nevezik. Ezeknél tehát fény szükséges a sporuláció indukciójához, de ha egyszer a folyamat megkezdődött, a fény hatása a reprodukció kiteljesedésében gátlóvá válik. Általánosságban megemlíthető, hogy a kék fény különösen hatásos az "egynapi sporulátorok spóra kialakulásának gátlásában a folyamat terminális fázisában. (iv) A fény és egyéb faktorok kölcsönhatása a sporulációra. A legtöbb gomba „termés” képzése fénnel való megvilágítással stimulálható, de csak akkor, ha egyéb tényezők nem korlátozzák ezt a hatást. A fontos korlátozó tényezők az alábbiak lehetnek: hőmérséklet, pH, szellőzés, táplálás, a közeg mélysége, a tenyészet kora, felületi vagy süllyesztett kultúra. (2) A sporuláció gátlása. (i) Nagy dózis gátló hatása. A kolónia túlságosan nagy dózison való kitettsége olyan hullámhossznál, amely normális körülmények közt stimuláló hatású. A gátlásnak ez a típusa valószínűleg főleg UV sugárzással való kísérleteknél fordul elő, de előfordulhat látható fénnel végzett kísérletek esetén is. (ii) Sötét fázis gátlás. Ez a fény gátló hatását jelenti az "egynapi sporulátorok" reprodukciós folyamatának terminális fázisában. (iii) Valódi gátlás. Az előző kettőtől eltérő gátlás gombák esetén ritkán fordul elő, akkor is leginkább az Oomycoták esetén. A *Phytophthora* nemzetség számos fajának ivaros szaporodását a fény gátolja. Ebben a kék fény a leghatékonyabb, a vörös pedig a legkevésbé hatékony. Az oogonium foto-gátlás egzakt meghatározására vonatkozó akciós spektrumok még nem ismertek. (3) Pigmentáció. Kevésbé ismert a pigmentek szerepe a gombákban, jóllehet feltételezhető, hogy néhány fotoreceptorként működik különböző fotobiológiai jelenség során. Mások a védekezést szolgálhatják a káros UV sugárzással szemben. A nyálkagombák

pigmentációját a fény idézi elő. Nem ismeretlen, hogy a sötétben növesztett plazmódium színtelen, és színessé válik fény hatására. Ez általában összefüggésben van azzal, hogy ezek a pigment anyagok, mint fotoreceptorok valamilyen módon összefüggésben vannak a sporulációval. Jól ismert, hogy a *Fusarium* fajok tenyészteti erősen „színesek”, ha fénynek vannak kitéve, és színtelenek sötétben. Ugyanakkor van néhány faj, amelyre ennek a fordítottja igaz. A *Fusarium* tenyésztetek színe valószínűleg karotinoidtól és naphtha quinon- tól ered. Az előbbi fény hatására keletkezik, az utóbbi pedig főleg a C/N arányt szabályozza. (4) Morfológiai hatások. Az alak, méret, a spórák és spóráképző szervek szerkezete általánosan használt kritérium a gombák azonosításakor. Ezek a jellemezők gyakran jelentősen megváltozhatnak különböző környezeti tényezők, pl. fény hatására. (i) Spóra és spóráképző szervek morfológiája. Viszonylag régóta ismert, hogy különböző *Mucor* félék és bazídiumos gombafajok sporulációs formáinak alakjai teljesen különbözőek, attól függően, hogy sötétben vagy fényben nőttek. Egzakt összefüggések ezzel kapcsolatban nem állnak rendelkezésünkre. (ii) Durva elváltozások. Azok a tenyésztetek, amelyek megvilágítás alatt nőttek gyakran teljesen különböznek azoktól, amelyek sötétben növekedtek. A megvilágított kolóniák általában jobban pigmentáltak, kevesebb légmicéliummal rendelkeznek, és nagyobbak vagy kisebbek, mint a sötétben növekedők. A szkleróciumok hiánya vagy megléte ugyancsak hozzájárulhat ezekhez a durva eltérésekhez. A zónázottság is közös jellemzője azoknak a kolóniáknak, amelyek a fény ritmikus változásainak vannak kitéve.

A következőkben a különböző törzsekbe sorolt gombákon

megfigyelt morfogenetikai hatásokat tekintjük át.

3.2.4.1. *Myxomycota* törzs

Ezek a gombák általában nem növénypatogének, de jó tesztorganizmusok, ezért több kutató is foglalkozik a fény nyálkagombákra kifejtett hatásával. Sok nyálkagombánál a fény a kolóniák sporulációját idézi elő. Bizonyos pigmentált fajok megkövetelik a fényt a sporulációhoz, míg a nem pigmentált fajok egyformán képesek kialakítani termőtestet sötétben és fényben. A leghatékonyabb hullámhossz a sporangium kialakulás stimulálására a kék fény és a közeli UV sugárzás *Physarum polycephalum* esetében (LEACH 1971).

RAKOCZY (1980) vizsgálatai alapján megállapította, hogy *Physarum polycephalum*, *Physarum gyrosum*, *Physarum nudum*, *Dydimium nigripes*, *Dydimium iridis* fajok esetében a kék fény aktív a sporuláció indukciójára. Jóllehet a vörös fény is elősegíti a sporulációt, a szükséges intenzitás ebben a tartományban kb. tízszer nagyobb. A *Physarum nudum* akciós spektruma alapján megállapítható, hogy az aktivitás legnagyobb az UV tartományban, fokozatosan csökken 540 nm-ig. Ezután 650-750 nm közt van lényegesen kisebb csúcs. A zöld és a távoli vörös tartomány nem segíti elő a sporulációt.

A fény hatása a sejtes nyálkagombákra (*Acrasiomycetes*) sokkal kevésbé ismert, mint a valódi nyálkagombákra.

3.2.4.2. *Oomycota* törzs

A fénynek ebbe a törzsbe tartozó gombákra gyakorolt hatásairól lényegében LEACH (1971) munkája alapján lehet áttekintést adni.

A törzsön belül számos faj van, melyeknek reprodukciós

folyamataira hatással van a fény. Általában az ivartalan stádiumban a fény stimuláló, az ivaros állapotban a fény gátló hatással rendelkezik. Csak nagyon kevés moszatgomba esetén tanulmányozták gondosan a fény hatását.

A petespórás gombák közül a *Phytophthora* nemzetségre fordították a legnagyobb figyelmet. A sporangiumok kialakulását néhány fajnál a fény stimulálja, míg az oogámiára a fény általában gátló hatást fejt ki. A fény minőségét teljes részletességgel nem tanulmányozták, de úgy tűnik, hogy a spektrum kék tartománya felelős a fenti hatásért. Egyetlen munkában sem számolnak be az UV tartomány sporangium kialakulásra kifejtett hatásáról, jóllehet megállapítható, hogy a sporulációt bizonyos fajoknál stimulálja az UV sugárzás hiánya.

A *Phytophthora* nemzetség egyik tagja, a *Phytophthora parasitica* esetén a fény erősen befolyásolja a sporulációt mesterséges közegen. Bármilyen kis intenzitású folytonos fény elnyomja a *Peronospora tabacina* sporulációját. A maximális sporulációhoz napi hét órá sötétség szükséges.

3.2.4.3. Zygomycota törzs

LEACH (1971) megállapította, hogy a *Pilobolus kleinii* gombafajnál a trophocyst kialakulását az 510 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú fény stimulálja. A leghatékonyabb a 400-480 nm közti tartomány. A *Choanephora cururbitarum* fényhez való viszonya sokkal komplexebb. A fény stimulálja a konídiumok kialakulását, de ha egyszer a folyamat elkezdődött a fény hatása gátlóvá válik, és a sporuláció nem fejeződik be, hacsak a gombát sötét helyre nem tesszük.

CARLILE (1965) megállapítása szerint a legrészletesebb tanulmányokat a *Mucor* nemzetség tagjain végezték, különösen az ivartalan szaporodás területén. Mind a fény, mind a sötétség vagy esetleg mindkettő szükségességét demonstrálni lehet. Egymáshoz egészen közelálló fajok fényigénye lényegesen különbözhet. Ez megmutatkozik a *Pilobolus* ivartalan szaporodásánál. Azt találták, hogy a *P. kleinii* és a *P. gracilis* három különböző fázisban igényel fényt: a trophocysták termelésekor, a sporangium tartók fejlődésekor és a sporangiumok kialakulásakor. A *P. crystallinus* és *P. umbonatus* csak az utolsó fázisban, a sporangiumok kialakulásakor igényel fényt. A *P. longipes* és a *P. sphaerosporus* viszont egyáltalán nem igényel fényt. A *Choanephora cucurbitarum* esetén (LEACH 1971), amely mind konídiumokat, mind sporangiumokat létrehoz, a sporangium kialakulásra nincs hatással a fény, de a konídium kialakuláshoz egy bizonyos megvilágítást követő sötét periódus szükséges. Ugyanennél a fajnál a folytonos fény gátolja a zygospóra kialakulást, de csak olyan hőmérsékleten, amely megközelíti azt az alsó határértéket, ahol ivaros szaporodás előfordulhat.

3.2.4.4. Ascomycota törzs

Sok tömlősgomba sporulációja stimulálható megvilágítás útján (LEACH 1971). Jóllehet a fényhez való viszonyulást csak nagyon kevés fajnál tanulmányozták alaposan, a fényhez való viszony alapján két csoportot lehet megkülönböztetni. (1) Az aszkocarpium kialakulást csak az UV fény stimulálja. (2) Az aszkocarp kialakulására mind a közeli UV sugárzás, mind a kék fény hat. A Discomycetes csoportba tartozó

Ascophanus carneus bőségesen produkál apotéciumot, amikor 430-540 nm közti fénnel világítjuk meg, ritkábban hosszabb hullámhosszal történő megvilágításnál. Hasonló összefüggés létezik a *Leptosphaerulina* nemzetségbe tartozó fajoknál is (THOMAS és HALPIN 1964). A *Pleospora herbarum* (anamorfa: *Stemphylium botryosum*) faj aktívan növekvő tenyészetét közeli UV sugárzásnak kitéve peritécium kialakulása indukálódik (LEACH és TRIONE 1966). Pontosabb vizsgálatok alapján megállapították, hogy csak a 380 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú fény váltja ki a peritécium kialakulást.

Számos tömlősgombánál (CARLILE 1965) a fény hatással van az ivartalan szaporodásra. *Sclerotinia fructigena* esetében fény szükséges a makrokonídiumok termeléséhez, míg a *Sclerotinia fructicola* sötétséget igényel. A piknidium kialakulást sok gombánál, így pl. *Physalospora obtusa* esetében a fény serkenti. A *Penicillium isariiforme* konídium tartóinak termeléséhez a fény fontos, de nem így van pl. a *Penicillium claviforme* esetében.

THOMAS és HALPIN (1964) *Leptosphaerulina briosiana* tenyészetet vizsgált 7 napig fehér fényben. A tenyészeteket újabb 7 napig sötétben tárolták. Ezután ezekből a tenyészetekből újabb kultúrákat oltottak le, amelyeket 20 °C-on sötétben és folytonos kék, zöld, vörös és fehér fényben tartottak. Hét nap után ezeket a tenyészeteket megvizsgálták a növekedés és a sporuláció szempontjából, majd újabb tenyészeteket oltottak le róluk, amelyeket ugyanezeknek a kezeléseknak vetették alá. A fénynek kitett második generáció jobban sporulált, mint az első. Legkisebb mértékű sporulációt lehetett megfigyelni a sötétben tartott tenyészeteknél. A sporuláció növekedésével a második generációban a

vegetatív növekedés csökkent.

LEACH (1972) *Leptosphaerulina trifolii* fény indukálta ivaros szaporodásának akciós spektrumát vizsgálta. Előzetesen megállapította, hogy a tenyészetek 12 óráig közeli UV fény és hideg fehér fény keverékével való megvilágítása, 12 óráig pedig sötétben tartása a peritécium produkciót nagymértékben stimulálja. Ugyancsak megállapította, hogy mind a tenyészet növekedése, mind a peritécium kialakulása szempontjából legkedvezőbb a 25 °C hőmérséklet. A peritécium produkciót 7 nappal a leoltás után mérte. A tenyészeteket a 240-360 nm hullámhossz tartományba eső fénnel sugározta be 10 nm-ként. Az akciós spektrumok alapján megállapítható, hogy csak a 370 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú fény indukálja a peritécium kialakulást. Az akciós spektrumoknak 265, 287 és 300 nm-nél maximuma van, vagyis a peritécium kialakulás indukciója szempontjából ez a három hullámhossz a leghatásosabb.

LEACH és TRIONE (1966) a fény indukálta sporuláció akciós spektrumát vizsgálta a *Pleospora herbarum* gombafajra. A tenyészeteket 21 °C-on sötétben tartották egy hétig, s az akciós spektrumok felvételéhez ezeknek a tenyészeteknek a széléről vették a micéliumot. A besugárzás 900 W teljesítményű kompakt Xe lámpával történt. Monokromatikus sugárnyaláb előállításához diffrakciós monokromátort használtak. Az akciós spektrumot 230 nm-től 400 nm-ig mérték 10 nm-enként. Az alkalmazott intenzitás a 230-290 nm tartományban 0,05 mW/cm², az expozíciós idő 1-100 s volt. A 300-400 nm tartományban a sugárzás intenzitása az 0,05-1,189 mW/cm² tartományba esett, míg az expozíciós idő 5 és 50000 s között változott. Az akciós spektrum alapján

megállapították, hogy nagy a hatékonysága a 230 és 290 nm közti tartománynak, továbbá van észrevehető hatása a 310 nm-es hullámhossznak. Az előbbi tartományban a sugárzás mintegy 47000-szer hatékonyabb, mint a 360 nm hullámhosszúságú sugárzás hatékonysága.

CURTIS (1964) a fény intenzitásának, hullámhosszának és a megvilágítás időtartamának a hatását vizsgálta a *Hypomyces solani f. cucurbitae* termőtestének kialakulására. A különböző besugárzásokat 30 napos vegetatív növekedés után végezte, amikor a peritécium primordium látható volt. A megvilágítás időtartamának hatását vizsgálva 8/16, 12/12 és 16/8 órás fény/sötét periódust használt. Kezeléseket állított be folyamatos sötétre és megvilágításra is. A kezelést 15 napon keresztül végezte, ezután megszámolta a képződött peritéciumokat. A megvilágítás minden esetben 200 ft-c volt. Az eredmények alapján megállapítható, hogy folyamatos megvilágítás vagy 16/8 órás fényperiódus esetén képződött a legtöbb peritécium. Az intenzitás hatásával kapcsolatos eredmények azt mutatják, hogy a legtöbb primordium akkor képződött, amikor a megvilágítás 50 és 200 ft-c között volt. A fény hullámhosszának hatásával kapcsolatos eredménye, hogy a spektrum kék és közeli UV tartományával való besugárzás egyformán stimulálja a peritécium és peritécium primordium képződését (242-530 nm). Vizsgálatokat végzett a távoli UV (254 nm) sugárzás hatásának felderítésére. Eredményei szerint nincs különbség a besugárzott és a nem besugárzott tenyészetek között. Külön vizsgálva a közeli UV (310-425 nm) sugárzás hatását megállapította, hogy a kísérletbe bevont két különböző változat esetén folytonos, 10 óra időtartamú, $0,085 \text{ mW/cm}^2$ intenzitású, illetve 50 óra időtartamú, ugyancsak $0,085 \text{ mW/cm}^2$

intenzitású besugárzás esetén a keletkezett peritéciumok száma a legnagyobb. 1 mW/cm^2 intenzitásnál viszont csak kevés peritécium keletkezik.

3.2.4.5. *Basidiomycota* törzs

Az ebbe a törzsbe tartozó gombák morfogenezise a legritkábban említett (LEACH 1971). A *Sphaerobolus* nemzetségbe tartozó gombák primordium kialakulásának stimulálásához szükséges fény intenzitása mintegy 100 lux, de az igényelt intenzitás különböző fejlettségi állapotban más és más. Megállapítható, hogy a 350-500 nm közti hullámhossz tartomány hatásos, különösen a 440-480 nm közti tartomány. Ennél a nemzetségnél kék fény (400-500 nm) szükséges a sporuláció kialakulásához, de a spóraképzés utolsó fázisában a vörös és a távoli vörös fény (640-720 nm) jobban gyorsítja a sporuláció befejeződését, mint a kék fény. CARLILE (1965) megállapítja, hogy gyakran szükséges fény a termőtest kifejlődésének egy vagy több fázisában.

A fénnel kapcsolatos pontos összefüggéseket bazídiumos gombák esetén nehéz kísérletileg meghatározni, főleg azért, mert a legtöbb termőtest nagy mérete technikai problémát jelent (LEACH 1971). Növénypatogén bazídiumos gombák (rozsdá- és üszöggombák) sporulációjára vonatkozó adatot nem találtunk a szakirodalomban.

3.2.4.6. *Deuteromycota* törzs

A látható vagy UV sugárzás morfogenetikai hatását viszonylag széleskörűen vizsgálták a konídiumos gombákon. Viszonylag régi megfigyelések, illetve kísérleti adatok találhatók a *Trichoderma* fajok

megvilágításra adott reakcióira. Folyamatos sötétség késlelteti vagy teljesen lerontja a *Trichoderma viride* sporulációját (CARLILE 1965). GRESSEL és GALUN (1967) a *Trichoderma harzianum* fény indukálta sporulációjáról számol be. A megvilágítási idő 24 óráig történő növelésével a Petri csészébe oltott tenyészetben egyre „élesebb” sporulációs gyűrű figyelhető meg. GRESSEL és HARTMAN (1968) a *Trichoderma viride* sporulációjának akciós spektrumát a 350-1100 nm hullámhossz tartományban vizsgálták. Az 525 és 1100 nm tartományban a kvantum hatásfok kisebb volt mint 0,005, vagyis ebben a hullámhossz tartományban a sugárzás nincs hatással a sporulációra. A 350 és 525 nm közti tartományban 380 és 440 nm-nél egy-egy csúcs figyelhető meg, ami azt jelenti, hogy ezek a hullámhosszak különösen hatásosak a sporuláció indukációjában.

BRAGA et al. (2001a) a rovarpatogén *Metarhizium anisopliae* konídiumainak és csíráinak az UV-B sugárzásra adott reakcióit vizsgálták. A besugárzáshoz 0,092 és 0,12 mW/cm² intenzitású fényforrásokat használtak, 1, 2, 4, 6, 7 és 8 órás besugárzási idővel. A 0,12 mW/cm² -es intenzitás az 50 %-os letalitáshoz tartozó időt 6 h 40 percről 4 h 26 percre csökkentette. Ugyancsak BRAGA et al. (2001b) a teljes spektrumú napsugárzás és a napsugárzás UV-A tartományának hatását vizsgálták *Metarhizium anisopliae*-re. Tapasztalataik szerint a faj különböző vonalainak a teljes spektrumú napsugárzással, valamint a napfény UV-A sugárzásával szembeni toleranciája tág határok közt változott. Négy órás, teljes spektrumú napsugárzásnak való kitettség egyes vonalaknál 30 %-al, másoknál akár 100 %-al csökkentette a kifejlett konídiumok számát.

LEACH (1962) 34 gombafajon végzett kísérleteket, melynek során a tenyészeteket 310-400 nm hullámhosszúságú, $0,076 \text{ mW/cm}^2$ intenzitású közeli UV fénnel sugározta be 3-10 nap időtartamig. Azt találta, hogy a sporuláció indukálódott, vagy a sporuláció mértéke fokozódott az alábbi konídiumos gombafajoknál: *Ascochyta pinodella*, *A. pisi*, *Alternaria chrysanthemi*, *A. tenuis*, *A. zinniae*, *Botrytis cinerea*, *Epicoccum nigrum*, *Fusarium oxysporum*, *F. nivale*, *F. roseum*, *F. solani*, *Helminthosporium avenae*, *Stemphylium botryosum*, *S. trifolii*. A *H. oryzae* csak akkor képzett konídiumokat, ha a besugárzást sötét periódus követte. Közeli UV sugárzás vagy mesterséges fényű fluoreszcens lámpa egyformán jól stimulálta a sporulációt.

LEACH és TRIONE (1965) a fény indukálta sporuláció akciós spektrumát vizsgálták *Ascochyta pisi* piknídiumos gombafaj esetén. Ennél a gombafajnál a piknídium produkció pontosan mérhető. A tenyészeteket 5 napig 21°C -on sötétben tartották, ezt követte a besugárzás, majd újabb 48 óráig sötétben tartották és ezután vizsgálták a piknídiumokat mikroszkóp segítségével. A kolóniák 1 cm^2 -es területét sugározták be a tenyészet kerületi részén. A fényforrásként egy 900 W-os kompakt Xenon lámpa szolgált, melynek a spektruma kb. 220 nm-től az infravörösre terjed. A monokromatikus sugárzást egy rácson monokromátor segítségével állították elő. A sugárzás abszolút intenzitását kompenzált termooszloppal és galvanométerrel mérték. Az akciós spektrum alapján az alábbi megállapítások tehetők. (i) Csak a 370 nm-él rövidebb hullámhosszak indukálják a sporulációt. (ii) Leghatékonyabb a 290 nm-es hullámhossz. (iii) Az akciós spektrum járulékos csúccsal rendelkezik 260 nm-nél, továbbá növekszik az

aktivitás 230 nm alatt. (iv) Ugyanakkora hatás eléréséhez 360 nm-en mintegy 5000-szer akkora dózissal van szükség, mint 290 nm-en. Korábbi kísérletek alapján (CARLILE és FRIEND 1956) arra a megállapításra lehetett jutni, hogy a gombák fény indukálta sporulációjának fotoreceptorai karotinoidok vagy flavoproteinek lehetnek. Szerzők munkájuk során izoláltak egy általuk P_{310} -nek nevezett szubsztanciát, mely hozzárendelhető a fény indukálta sporulációhoz azon az alapon, hogy abszorpciós spektruma nagyban hasonlít az *Ascochyta pisi* akciós spektrumához. A két spektrum közti leglényegesebbnek tekinthető különbség az, hogy a P_{310} abszorpciós spektruma 290 nm helyett 310 nm-en rendelkezik maximummal. Az *Ascochyta pisi* akciós spektruma tipikus lehet más gombák esetén is.

TAN és EPTON (1974a) a közeli UV sugárzás hatását vizsgálták a *Botrytis cinerea* sporulációjára. A tenyészeteket 4,5-5 napig sötétben, 20 °C-on inkubálták a kísérleteket megelőzően. A fotóindukció közeli UV sugárzással 12 órán keresztül tartott. Ha ezután a tenyészetet újra sötétbe helyezték, akkor innen számítva mintegy hat óra múlva megindult a sporuláció, amely 36 óra alatt érte el a maximumot. Ha a tenyészetet a 12 órás induktív besugárzás után továbbra is megvilágították közeli UV fénnel, akkor a sporuláció mintegy hat órával később kezdődött, de a maximumot most is 36 óra alatt érte el. Végül, ha a tenyészetet folyamatosan sötétben tartották, akkor nem kezdődött el a sporuláció. A sporuláció mértékének megállapításához több helyen 0,1 mm²-en megszámolták a spórákat, s ezeket az értékeket átlagolták.

TAN (1974a; 1975) további lényeges megállapítása, hogy a közeli UV sugárzás elősegíti, a kék fény viszont elnyomja a *Botrytis cinerea*

sporulációját. Ha ugyanis a közeli UV-vel történő besugárzást és a kék fénnel történő megvilágítást felváltva, többször egymás után alkalmazta, akkor a sporuláció mértékét az határozta meg, hogy utoljára milyen sugárzást alkalmazott.

TAN (1974b; 1975) a *Botrytis cinerea* sporuláció kék fény általi gátlásának visszafordítását vizsgálta vörös, távoli vörös fénnel történő besugárzás hatására. Kísérlete során *Botrytis cinerea* tenyészeteket inkubált 20 °C-on sötétben 4,5 napig. A kezdeti inkubációs periódus után a tenyészeteket 0,151 mW/cm² intenzitású közeli UV sugárzásnak tette ki 12 órán keresztül, majd a tenyészetet 12 óráig sötétben tartotta. Ezután a tenyészeteket 4 órán keresztül 0,25 mW/cm² intenzitású kék (380-530 nm) fénnel világította meg. Ezt követte az 1,8 mW/cm² intenzitású távoli vörös ($\lambda > 720$ nm) fénnel történő megvilágítás 4 órán keresztül, majd még 0,5 órán keresztül 0,15 mW/cm² intenzitású vörös (620-720 nm) fénnel történő megvilágítás). E két utóbbi megvilágítást többször is megismételte. A kísérlet eredménye az volt, hogy ha legutoljára kék fénnel történő megvilágítást alkalmazott, akkor a sporulációs százalék mintegy 65 % volt, ha az utolsó kezelés vörös fénnel történt, akkor mintegy 75-82 %, ha pedig az utolsó kezelés távoli vörös fénnel történt, akkor a sporuláció 100 % volt.

TAN és EPTON (1974b) eljárást dolgozott ki a *Botrytis cinerea* sporulációját szabályozó, az UV sugárzást abszorbeáló komponens szeparálására. Végeredményben kaptak egy desztillált vízben oldódó frakciót és egy csak abszolút alkoholban oldódó frakciót. Ezen frakciók abszorpcióját spektrofotométerrel mérték. Az abszorpció mérések eredménye az alábbiakban foglalható össze. (i) A fotoindukált vizes

frakció 310 nm-nél nagy abszorpciós maximummal rendelkezik, míg a sötétben növesztett tenyészetből kivont vizes frakció nem rendelkezett ezzel az abszorpciós csúccsal. Ugyanakkor mindkét tenyészetből kivont vizes frakciók rendelkeztek egy abszorpciós maximummal 260 nm-nél.

(ii) Az alkoholban oldódó frakció mind a közeli UV sugárzással indukált, mind a sötétben növesztett tenyészet esetében lényegében azonos volt, a sötétben növesztett tenyészet esetében az abszorpció értékek nem szignifikánsan, de kisebbek voltak. Az abszorpciós maximum helyek azonban azonosak voltak. A 260, 270, 281 és 293 nm-nél megfigyelhető csúcsok valószínűleg néhány gomba- UV fotoreceptor aktivitásának felelnek meg.

(iii) A kezdeti sötét periódus után a tenyészeteket besugározták közeli UV fénnel, majd a fotoindukció különböző fázisaiban 10 tenyészetet vettek ki a besugárzásból, s ezekből szeparálták a P_{310} összetevőt. A vizes frakciók abszorpciós spektrumai alapján megállapítható, hogy az abszorpciós maximum kis besugárzási idők esetén 305 nm, s a besugárzási idő növekedtével fokozatosan eltolódik 310 nm-ig. Ugyanakkor az abszorpció a besugárzási idővel közel egyenesen arányosan növekszik. Az abszorpcióban megfigyelhető egy növekedés a 260 nm-es hullámhosszon is. Ez a csúcs kialakul a sötétben tartott tenyészeteknél is, amelyeknél éppen kezdődik a sporuláció. További érdekesség, hogy a 310 és 260 nm-es csúcs szimultán növekedik.

(iv) A kék fénynek a sporulációra gyakorolt hatását a következő kísérleti elrendezésben vizsgálták. A tenyészeteket 3,5 napig sötétben tartották, majd az alábbi kezeléseket hajtották végre. (a) 24 órás besugárzás közeli UV fénnel, (b) 4 órás besugárzás közeli UV fénnel, ezt követően a tenyészet 20 órán keresztül sötétben volt, (c) 24 órás

megvilágítás kék fénnel, (d) tenyésztés 24 óráig sötétben. A kezelések után azonnal kivonták a P_{310} frakciót, és az abszorpciót spektrofotométerrel meghatározták. Végeredményben az (a) kezelés abszorpciója volt a legnagyobb, viszonylag nagy érték volt az abszorpció a (b) kezelés esetében, míg a (c) és (d) kezelésben az abszorpció alig különbözött a nullától.

LEACH és TRIONE (1966) *Alternaria dauci*-val végzett kísérletek során megállapította, hogy a sporuláció indukciójára itt a 230–360 nm hullámhossz tartomány van hatással. Az akciós spektrumban 285 nm-nél található egy határozott csúcs, valamint egy kisebb 260 nm-nél. Az UV sugárzás 290 nm-nél mintegy 22000-szer hatékonyabb, mint 360 nm-nél. Az *Ascochyta pisi*, a *Pleospora herbarum* és az *Alternaria dauci* akciós spektrumait összehasonlítva megállapították, hogy a hatékony hullámhosszak a 230–360 nm tartományban majdnem azonosak, kivéve a *P. herbarum* peritécium kialakulására vonatkozó akciós spektrumot. Ez a spektrum 380 nm-ig elnyúlik. Ez a különbség, hogy tudnillik a konídium képződés során a sugárzás 360 nm-ig, peritécium képződés során pedig 380 nm-ig hatásos, felveti azt a kérdést, hogy az ivaros és az ivartalan szaporodásban egy vagy két fotoreceptor vesz-e részt. Minthogy mind az ivaros, mind az ivartalan szaporodás ugyanazzal a hormonszerű anyaggal stimulálható, nem tűnik szerencsés feltételezésnek, hogy egynél több molekulafizikai mechanizmus venne részt ezekben a folyamatokban. A kétféle szaporodás egy fotoreceptorral való magyarázata az lehet, hogy a 360–380 nm tartományban a sugárzás kvantumhatásfoka nagyon kicsi, a P_{310} szintézis sebessége kicsi és korlátozott. Ilyen feltételek között, ha a P_{310} konídium illetve peritécium kialakuláshoz szükséges küszöb

koncentrációja különböző, elégséges lehet az egyik reprodukciós folyamathoz, míg hatástalan marad a másikhoz.

VAKALOUNAKIS (1986) az *Alternaria cichorii* akciós spektrumának meghatározásával foglalkozott. Eredménye nagyban hasonlít az *Alternaria dauci* akciós spektrumához. Eszerint az akciós spektrum 290 nm-nél rendelkezik egy csúccsal, vagyis ez a hullámhossz indukálja legjobban a konidium tartók kialakulását. Az akciós spektrum további jellemzője, hogy mintegy 270 és 320 nm-nél egy-egy vállal rendelkezik. A szerző munkája során 900 W teljesítményű Xe lámpát használt, amelyből a megfelelő hullámhosszakat diffrakciós monokromátorral választotta ki. A fényintenzitást termopárral és galvanométerrel mérte. Az alkalmazott fényintenzitás a 250-340 nm hullámhossz tartományban 0,0800 és 0,412 mW/cm² közt volt.

ARAGAKI et al. (1973) az *Alternaria tomato* sporulációs folyamatát vizsgálták. Első lépésben a tenyészetet három napig hideg fehér fényű fluoreszcens lámpa fényében tartották, a megvilágítás erőssége 2700 lx volt. Ez idő alatt konidium tartók képződtek. Ezután a tenyészeteket 4–24 óra időtartamig kék fénnel világították meg, amelyet megfelelő színszűrővel választottak ki. A kezelések eredményeképpen a tenyészetekben fejlődött spórák száma a kék fénnel történő megvilágítás időtartamának növelésével erősen csökkent. Pl. 12 óráig tartó kék fénnel történő megvilágítás hatására a tenyészetekben lévő spórák száma a kék fénnel nem megvilágított kultúrához képest mintegy 15 %-ra csökkent. Ugyanakkor megfigyelhető a konidium tartók regenerációja a kék fény követő, közeli UV sugárzást nem tartalmazó fénnel való megvilágítás hatására. A konidium tartók változatlanok maradnak, ha a kék fényt

követő sugárzás tartalmazza vagy az UV vagy a kék tartományt. A szerzők megfigyelése szerint hasonlóképpen viselkedik a *Helminthosporium oryzae*.

A fény, valamint a fényhatások és a nedvességtartalom kölcsönhatását vizsgálta BASHI és ROTEM (1976) in vitro és in vivo *Alternaria porri* f. sp. *solani* gombafaj sporulációjára. In vitro kísérleteik eredménye, hogy nem keletkeznek konídiumok, ha a tenyészetet folyamatos sötétben tartják. Ugyancsak nem keletkeznek konídiumok, ha a tenyészetet kiszáritják. Sporuláció csak akkor figyelhető meg, ha a tenyészetet zárt PETRI csészében tartva UV fénnel vagy napsugárzással megvilágították. In vivo kísérletek alatt a szerzők azt értik, hogy a gombatenyészetet leveleken nevelték, amelyeket két 30*30 cm-es nedvesség- és fényáteresztő plastik fólia közé zárták. In vivo körülmények közt az alábbi eredményekről számoltak be.

Az UV- és a napsugárzás hatása: A fóliára helyezett nekrotikus leveleket néhány percig UV vagy napsugárzásnak tették ki. Az 1-4 percig UV sugárzásnak kitett leveleken a konídiumok száma a sötétben tartottakhoz képest maximum 394 %-al emelkedett. Hasonlóképpen 15–90 percig napfénynek kitett tenyészet esetén a spórák száma maximum 478 %-al növekedett.

Sötét és világos periódusok hatása a sporulációra: A szárazon tartott gombatenyészeteket 9 óráig 3-3 órás periódusokban sötétben tartották, illetve fluoreszcens lámpával megvilágították. A sötét és világos periódusok összes lehetséges variációját megvizsgálták. Az általuk használt lámpa spektrumában az UV sugárzás elhanyagolható volt, viszont a kék és vörös tartományban nagy intenzitással sugárzott. A

kísérletek eredményeképpen megállapították, hogy a levelenkénti spórák száma akkor volt a legtöbb, amikor egy 3 órás sötét szakaszt 2*3 órás megvilágítás követetett, legkevesebb pedig akkor, amikor a leveleket 3*3 óráig sötétben tartották.

Összefüggés a fényintenzitás és a megvilágítás időtartama között:
Az említett szerzők egyik kísérletükben a gombatenyésztéssel fertőzött, fóliák közé zárt leveleket $135 \mu\text{E}^2$ intenzitású megvilágításnak tették ki 0, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8 órás időtartamig. Már 15 perces megvilágítás lényeges növekedést eredményezett a levelenkénti spóraszámban, ez a növekedés 8 órás megvilágítás után volt a legnagyobb. Másik kísérletükben 1, 4, 8, 12 és 24 óráig változó fényintenzitással világították meg a tenyészetet. Megfigyelhető, hogy a levelenkénti spórák száma 8 órás megvilágítás után volt a legnagyobb, hosszabb időtartamú megvilágítás esetén a spóraszám csökkent. Ugyancsak növekedett a spórák száma a fényintenzitás növekedésével, legnagyobb volt $195 \mu\text{E}$ intenzitás esetén.

A szerzők megállapítása szerint hasonló eredmények adódnak *Ascochyta pisi* és *Trichoderma viride* esetén.

KUMAGAI és ODA (1969) a közeli UV sugárzás, valamint a kék fény *Alternaria tomato* sporulációjára gyakorolt hatását vizsgálták. Főbb megállapításaik a következők:

1. A konidiumtartók indukciójához 8 óra időtartamú közeli UV sugárzásra van szükség. Konidium tartók sötétben nem alakulnak ki.

² Az Einstein a fényintenzitás ma már ritkán használatos egysége. $1 \text{ E} = 6 \cdot 10^{23}$ foton. Ez az egység azért nem szerencsés, mert a foton energiáról nem ad tájékoztatást.

Hasonlóan viselkedik a *Botrytis cinerea* és a *Helminthosporium oryzae* (KUMAGAI 1982).

2. Az induktív szakaszt követő változó időtartamú sötét szakaszt kék fényel történő megvilágítás követte. Ha a sötét periódus tartama 10 óránál rövidebb volt, a sporulációs százalék erősen lecsökkent.

3. A kék fény által okozott inaktiváció közeli UV sugárzással visszafordítható.

4. Végül a szerzők javaslatot tesznek egy új, "mycochrom"-nak elnevezett fotoreceptor bevezetésére, amely az *Alternaria tomato* és a *Helminthosporium oryzae* konídium fejlődésében, a kék és közeli UV megfordítható fotoreakcióban vesz részt. Ezt a hipotézist a szerzők későbbi munkája is megerősíti (KUMAGAI et al. 1976). KUMAGAI (1978) *Botrytis cinerea* tenyészetben is feltételezi a mycochrom meglétét. Ezt a hipotézist erősíti meg VAKALOUNAKIS és CHRISTIAS (1981) *Alternaria cichorii*-n elvégzett kísérlete.

KUMAGAI (1978) számos megfigyelés, illetve kísérlet alapján a konídiumos gombákat morfogenetikai fotoreakcióik alapján az alábbi három csoportba sorolja.

1. Fény szükséges a konídium tartók indukciójához, de a konídiumok fejlődését a fény elnyomja. Ebbe a csoportba sorolható pl. a *Choanephora cucurbitarum*, az *Alternaria tomato*, az *Alternaria solani* és a *Stemphylium botryosum*.

2. Fény nem szükséges a konídium tartók indukciójához, és a fény a konídiumok fejlődését elnyomja. Ebbe a típusba tartozik pl. a *Helminthosporium oryzae*.

3. Fény szükséges a konídium tartók indukciójához, és a konídiumok fejlődését a fény nem nyomja el. Ebbe a típusba tartozik pl. *Trichoderma viride*, a *Helminthosporium catenarium*, a *Fusarium nivale* és a *Cercospora herpotrichoides*.

Mint az eddigiekből kitűnik, számos szerző foglalkozik különböző *Alternaria* fajok sporulációjának kék fény által történő gátlásával. LUKENS (1963) vizsgálatai alapján a kék fény gátló hatása visszafordítható rövid ideig tartó vörös fénnel való besugárzással. Az *Alternaria solani* konídiumai általában hat órás sötét periódus után fejlődnek ki. Ekkor a konídium tartókat 84 s-ig monokromatikus, 450 nm hullámhosszúságú (kék) fénnel világította meg, amelyet azonnal követett egy hosszabb hullámhosszúságú monokromatikus fénnel való megvilágítás. Minden megvilágítás időtartamát az határozta meg, hogy megközelítőleg akkora energiát adjon, mint a kék fénnel való megvilágítás. A szerző ezen megfogalmazása nyilvánvalóan helytelen, helyesen itt arról van szó, hosszabb időtartammal, de kisebb energiával ugyanakkora dózist kapjon a tenyészet minden hullámhosszon. 450 nm-től 750 nm-ig kb 15-20 nm-enként meghatározva a sporulációs százalékot, megállapítható, hogy ennek a görbének éles maximuma van 600 nm-nél, továbbá egy válla 625 és 650 nm közt. A szerző feltételezése szerint a gombák olyan kromatofór anyagot tartalmaznak, amely jól abszorbeálja a vörös fényt, és képes megfordítani a sporuláció kék fény által történt gátlását. Az abszorpciós és az akciós spektrumok összehasonlítása alapján ez a kromatofór anyag nagy valószínűséggel vagy flavin-adenin-dinukleotid vagy flavin-mononukleotid. A 625-650 nm közti fotoreakciót a magasabb rendű növényeknél előforduló

phytochrom okozhatja, amelynek abszorpciós maximuma van 660 nm-nél.

LEACH (1971) kiemeli a fény sporulációra gyakorolt hatásának egyéb környezeti paramétereiktől való függését. A lehetséges környezeti paraméterek: hőmérséklet, nedvességtartalom, pH, szellőzés (levegőztetés), táplálás, a táptalaj mélysége, a tenyészet kora, a tenyészet felületi vagy beágyazott jellege. A szakirodalom a fentebbi környezeti paraméterek és a fény együttes, a sporulációra gyakorolt hatása tekintetében meglehetősen hiányos. Kivételként a fény és a hőmérséklet, valamint a nedvességtartalom sporulációra gyakorolt kölcsönös hatása említhető.

LEACH (1967) a közeli ultraibolya sugárzás és hőmérséklet együttes hatását vizsgálta *Alternaria dauci*, *Alternaria tomato*, *Cercospora herpotrichoides*, *Fusarium nivale*, *Helminthosporium catenarium*, és *Stemphylium botryosum* gombafajok sporulációjára. Egyik megállapítása az, hogy a felsorolt fajok két csoportba sorolhatók. Az egyik csoport az ún. kétnapi sporulátorok csoportja, amelyek a fotosporogenezis két jól elkülöníthető fázisával rendelkeznek. Az első az induktív fázis, amely a konídium tartók kialakulásához vezet, a másik pedig a terminális fázis, amely a konídiumok kialakulásához vezet. Az induktív fázist a közeli UV sugárzás stimulálja, és ez viszonylag magas hőmérsékleten hatékony. A terminális fázist a közeli UV sugárzás vagy a kék fény erősen gátolja, és ez a hatás főleg alacsony hőmérsékleten hatékony. A másik csoportba az ún. állandó hőmérsékletű sporulátorok tartoznak, amelyek a sporuláció szempontjából alacsonyabb hőmérsékleti optimummal rendelkeznek, és a fotosporogenezis nem különíthető el jól két különböző fázisra. Ebben a

csoportban bőséges sporuláció figyelhető meg folytonos közeli UV sugárzás alatt. *Alternaria dauci* és *Alternaria tomato* gombafajoknál egy új jelenség is megfigyelhető volt. Ez a sporuláció magas hőmérsékleti indukciója, ami azt jelenti, hogy viszonylag magas hőmérséklet a konidium tartók indukcióját eredményezi sötétben, ugyanakkor a hőmérséklet csökkentésekor nem alakultak ki konídiumok a konidium tartókban.

Megfigyelhető a fény minősége és a hőmérséklet kölcsönhatása a konidium tartók micéliummá történő visszaalakulás *Alternaria cichorii* gombafajnál (VAKALOUNAKIS et al. 1983). Kísérleteik során a konidium tartók kifejlődését 10 óráig tartó közeli UV sugárzás indukálta. Az UV sugárzás a 300–400 nm hullámhossz tartományt ölelte fel, intenzitás a tenyészet szintjén $0,54 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ volt. Az induktív szakasz után a tenyészetet különböző hőmérsékleteken 390–530 nm, 550–610 nm és 600–760 nm hullámhossz tartományba eső fénnel sugározták be. Megállapításaik szerint 25 °C alatt micéliummá történő visszaalakulás nem volt, még hat napig tartó, kék fénnel történt besugárzás során sem. Magasabb hőmérsékleteken, pl. 28 vagy 31 °C-on a kék fénnel történő megvilágítás során a micéliummá történő visszaalakulás sokkal intenzívebb volt, mint nagyobb hullámhosszakon. Az 550 nm- nél nagyobb hullámhossznak nem volt hatása a konidium tartók visszaalakulására.

VAKALOUNAKIS és CHRISTIAS (1985; 1986) megvizsgálták *Alternaria cichorii* konídiumok morfológiáját a fényintenzitás és a hőmérséklet függvényében. Eredményük szerint a fényintenzitás csak alacsony hőmérsékleten (15 °C) befolyásolja a méretet, ugyanakkor a

hőmérséklet bármilyen fényintenzitás mellett befolyásolja a konídium méretet. A konídium csőrének hosszát csak az alacsony hőmérséklet (15 °C) és a kis vagy nagy fényintenzitás befolyásolja. Közepes fényintenzitások és 21–33 °C közötti hőmérséklet nincs hatással a csőr hossza.

3.2.5. Spóraszétszóródásra gyakorolt hatás

BROOK (1969) a fény *Venturia inaequalis* aszkospórának a szétszóródására gyakorolt hatását vizsgálta. Folytonos spektrumú fényt alkalmazva az aszkospórák szétszóródása fél órával a megvilágítás után kezdődik, és a szétszóródás sebessége 2,5 óra múlva lesz a legnagyobb. Az aszkospórák szétszóródása csekély mértékű sötétben, vagy 620 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú fénnel való megvilágítás esetén, ugyanakkor a 620 nm-nél hosszabb hullámhosszúságú fény a szétszóródást stimulálta. Megállapította továbbá, hogy az infravörös és a közeli vörös fény gátolta az aszkospórák szétszóródását.

A fény mikroszkópikus gombákra gyakorolt hatásaival kapcsolatban összefoglalóan megjegyezhető, hogy mostanáig nem alakult ki egy egységes kísérleti- és kiértékelő módszer. Ezalatt azt értjük, hogy a különböző szerzők vizsgálataikat a legkülönbélebb hullámhossz tartományban végezték esetlegesenek tűnő intenzitások alkalmazásával, bár az intenzitást nyilvánvalóan az alkalmazott fényforrás technikai paraméterei határozzák meg.

3.2.6. Citológiai és biokémiai hatások

A citológiai és biokémiai hatások LEACH (1971) alapján a következőképpen rendszerezhetők.

1. Bizonyos gombafajoknál megfigyelhető, hogy a protoplazma a fény felé úszik, vagy a sejtmagok a sötét területek felől a jobban megvilágítottak felé úsznak. Ezt a jelenséget nevezik transzlokációnak, vagy protoplazmikus úszásnak.

2. Nem közismert, hogy számos szervezet sejtmembránjának permeabilitására hatással van a fény. Ilyen jellegű vizsgálatokat főleg élesztőgombákon végeztek. A kísérletek eredményeképpen azt állapították meg, hogy az élesztőgombák membránpermeabilitása megnövekedik P^{32} -re vonatkoztatva, ha távoli UV-vel besugározzák. A transzlokáció és permeabilitás változás kimutatásához komoly műszerezettség szükséges.

3. Főleg a bazídiumos gombák egyes fajainál figyelhető meg a lumineszcencia, azaz a fénykibocsátás jelensége.

4. Az UV sugárzás és a látható fény számos molekuláris változást indukál. A CO_2 fixáció növekedik megvilágítás hatására; az UV sugárzás hatással van pl. az élesztőgombák respirációjára és fermentációjára; a fény stimulálja a gibberellinek bioszintézisét, stb.

Érdemes itt megemlíteni DUGUAY és KLIRONOMOS (2000) vizsgálatát, amelyet az a tapasztalat indított el, hogy az ökoszisztémákban az UV-B sugárzás növekedésével lassul az avar lebomlási sebessége. Ez a jelenség magyarázható az avar UV-B sugárzás hatására bekövetkező összetétel-változásával, vagy a lebontó szervezetek működésének megváltozásával. A szerzők kísérletük során különböző gombafajok (*Aspergillus terreus*, *Trichoderma koningii*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Epicoccum purpurascens*, *Aspergillus niger*) CO_2 kibocsátását vizsgálták UV-B sugárzás hatására. Eredményeik szerint

növekvő UV-B dózissal a CO₂ kibocsátás lényegesen alacsonyabb szinten stabilizálódott.

A *Trichoderma harzianum* konídium csírázását az UV-C sugárzás gátolja. A nem csírázó konídiumok egy része nem duzzad meg, más részükben pedig elégtelenül fejlődik a csíratömlő. A csírázás gátlásának mindkét típusa visszafordítható látható fénnel, vagy UV-A sugárzással megvalósított fotoreaktiváció útján, melynek révén nagy csírázási százalék érhető el. A fotoreaktiváció akciós spektruma azt jelzi, hogy a *Trichoderma harzianum* DNA fotoliázzal, mint másodlagos kromoforral rendelkezik (SAMETZ-BARON et al. 1997). A kék fény molekuláris hatásával kapcsolatban megemlíthető, hogy feltételezhetően szabályozza a *Trichoderma harzianum* *phr1* génjének a kifejeződését. A *phr1* gén feltételezett terméke, egy DNA javító enzim, amely segít megvédeni ezt a talajlakó mikoparazita vagy szaprofita gombát az UV-C sugárzás károsító hatásától (BERROCAL-TITO et al. 2000).

5. A micélium és a termőtest pigmentációja szintén biokémiai hatások következménye, de “makroszkópikus” megnyilvánulása miatt hasznos lehet a gombák jellemzésében és azonosításában.

3.3 Közvetett hatások

A közvetett hatások alatt a sugárzásnak a gombák környezetében létrehozott változásoknak a gombákra gyakorolt hatását értjük. A közvetett hatások a következők lehetnek

1. *Ózon fejlődés UV sugárzás hatására.* Ózon főleg a 185 nm-nál rövidebb hullámhosszú UV sugárzás hatására keletkezik, de kis mértékben ennél nagyobb hullámhossznál is tapasztalható. A gombákra

már kb. 1 ppm ózon koncentráció toxikus.

2. *Hidrogén peroxid és hasonló anyagok.* Feltételezhető, hogy a tápközegben távoli UV (200 nm alatt) sugárzás hatására hidrogén peroxid képződik, amely a sugárzás direkt hatásaihoz kapcsolódva hathat néhány biológiai folyamatra.

3. *Szénhidrátok és egyéb anyagok lebomlása.* A távoli UV sugárzás (200 nm alatt) a szénhidrátok lebomlását okozza, így gátlást eredményez a mikrobiális növekedésben.

4. *Gazdanövény fogékonyság változása.* Ezen a téren szakirodalmi adat nem áll rendelkezésünkre.

3.4. Kisfrekvenciájú EM terek biológiai hatásai

Az elektromágneses terek (továbbiakban EM terek) biológiai hatásai, a bioelektromosság, a biomágnesség vagy bioelektromágnesség a felfedezésük kezdetei óta rejtéllyel és sarlatánsággal terhelt (GLASER 1992). Régebben általánosan elfogadott volt az a nézet, hogy a kis erősségű tereknek nincs biológiai hatása, mert az esetleg kiváltott hatásokat valamilyen szabályozó rendszer kiegyenlíti. Nagyobb térerősségű sugárzások irreverzibilis változásokat hozhatnak létre mikrostruktúrákban (SZALAY és RINGLER 1986).

Napjainkban széles körben vizsgálják különböző típusú, amplitúdójú, frekvenciájú, hullámformájú és kezelési idejű EM terek hatásait (VELIZAROV 1999). A laboratóriumi kísérletek mellett a kutatók elméleteket, modelleket fejlesztenek, valamint számítógépes szimulációt használnak az EM terek és a biológiai rendszerek közti kölcsönhatás tanulmányozására (WEAVER 2002).

Az EM terek biológiai hatásait több szempont szerint osztályozhatjuk.

1. Az EM terek által kiváltott hatásokat régebben egyszerűen termikus és nem termikus hatásokra osztották fel. Nem termikus hatások (GLASER 1992) lehetnek: (i) A sejtek elektromos gerjeszthetőségének jelenségei (pl. a tér által indukált membrán-potenciál változás (hiperpolarizáció, hipopolarizáció és depolarizáció). Az elektromos térben a sejtmembrán dipólusként viselkedik, így az un. nyugalmi elektromos térhez egy további, frekvenciafüggő elektromos tér is járul, amely indukált membránpotenciál változást hoz létre, s ilyen formán ingerli a

sejtet. (ii) A halak és egyéb állatok elektroreceptoros jelenségei. (iii) A baktériumok és madarak magnetoreceptoros jelenségei. (iv) A sejtek passzív mozgásának jelenségei mesterségesen alkalmazott terekben, mint pl. az elektroforézis, dielektroforézis vagy elektrorotáció. (v) A sejtmembrán elektromos lebontása rövid elektromos impulzussal, amely sejtek perforációjához és fúziójához vezet. További nem termikus hatások lehetnek: (vi) növekedést serkentő vagy gátló hatás (vii) statikus tér esetében orientációs hatások (viii) cirkadián ritmusok befolyásolása.

2. Az egyre szélesebb körű vizsgálatok alapján ma már az EM terek és az élő anyag kölcsönhatásait tárgyalhatjuk a molekulák, sejtek, valamint az egész szervezet szintjén (SZALAY és RINGLER 1986; GLASER 1992). A rádió- és mikrohullámú fotonok intra- és intermolekuláris kötésfelhasításokat nem idézhetnek elő, hiszen ezek energiája (pl. 300 GHz-nél, a tartomány felső határán 0,0012 eV) egy nagyságrenddel kisebb, mint a szobahőmérséklethez tartozó 0,026 eV termikus energia. Itt jegyezzük meg, hogy a rádióhullámok tartományában a hullámokat – ellentétben a látható vagy UV tartománnyal – általában frekvenciájukkal szokás jellemezni (a frekvencia és a hullámhossz között fennáll a jól ismert $c=v \cdot \lambda$, ahol c a fény terjedési sebessége, v a frekvencia és λ a hullámhossz). Az energiaviszonyok alapján a rádió- és mikrohullámú sugárzás csak a molekulák rezgési, vagy rotációs állapotait gerjesztheti, vagy a dipólusok energiáját növelheti meg. A létrejött áramok miatt jelentős hő is termelődhet, ezért külön szokták kezelni a termikus hatásokat.

A második világháború után a rádiófrekvenciás és mikrohullámú technika rohamos fejlődése lehetővé tette, hogy széles körben elterjedjen

a rádió- és mikrohullámok használata. A különböző ipari és háztartási berendezésekből, valamint a vezetékekből és az azokat ellátó nagyfeszültségű távvezetésekből eredő elektromágneses sugárzások az utóbbi időben együttesen több nagyságrenddel növelték meg az említett frekvenciatartományban a sugárzás intenzitásának a szintjét, annyira, hogy ez a háttérsugárzás ma már komoly környezetszennyezést („elektroszennyezés”, „elektroszmog”) is jelenthet (SZALAY és RINGLER 1986; GLASER 1992; RUZIC et al. 1997). Ezért ebben az összefüggésben sem tekinthetünk el az elektromágneses tereknek az élő szervezetekre, s ezen belül a miroszkópikus gombákra gyakorolt hatásától.

3. A rádióhullámok tartományába eső elektromágneses terek biológiai hatásait különösen a következő három hullámhossz tartományban vizsgálják.

(i). *A 300 MHz – 300 GHz tartományba eső mikrohullámok tartománya.* Ezt a tartományt gyakran a sugárzás emberi szervezetre gyakorolt esetleges rákkeltő hatása miatt kutatják (STAGG et al. 2001; ZOOK és SIMMENS 2001). (ii). *50/60 Hz-es váltakozó áram által keltett mágneses tér.* Ez a frekvencia a hálózati váltakozó áram frekvenciája (Európában 50, az USA-ban 60 Hz). A kutatások tárgya gyakran ugyancsak a hálózati váltakozó áramú vezetékek és a váltakozó áramú villamos gépek szórt elektromágneses terének az emberi szervezetre gyakorolt rákkeltő, és egyéb hatása (KORPINEN és PARTANEN 1996; HARRIS et al. 1998; OWEN 1998), valamint növények csírázására és növekedésére gyakorolt hatása (RUZIC et al. 1998a; RUZIC et al. 1998b) (iii). *Statikus (földi) és extrém alacsony frekvenciájú sinusos vagy pulzáló mágneses terek hatása.* Ezen a területen leggyakrabban madarak és rovarok földi mágneses tér alapján

való tájékozódását vizsgálták (NOWINSZKY 1994; PRESZMAN 1977). Az utóbbi időben gyakran vizsgálják ebben a tartományban a mágneses tér növényekre (SMITH és MAYS 1984; RUZIC et al. 1993), ritkábban gombákra kifejtett hatását.

4. Napjainkban egyre behatóbban tanulmányozzák az EM terek hatásait különböző biotechnológiai eljárásokban, sőt kifejezetten EM tereket felhasználó biotechnológiai eljárásokat fejlesztenek ki (VELIZAROV 1999). Ezen a területen megemlíthető pl. az elektroporáció és elektrofúzió jelensége. Sok esetben ezek a technikák könnyebben kézben tarthatók és hatékonyabbak, mint a klasszikus technikák. Említhető itt a sejtek inaktiválása sterilizáció céljából erős elektromos impulzussal.

3.4.1. EM terek molekuláris és sejtszintű hatásai

MOHTAT et al. (1998) szerves molekulák lézerfény hatására történő hasadásának dinamikáját vizsgálták a statikus mágneses tér függvényében. Megállapításaik szerint a felhasadt molekulák aránya a 0-0,15 T tartományban a mágneses indukció növekedésével növekszik. Ugyancsak a mágneses tér molekulákra gyakorolt hatásaival foglalkozott CHIGNELL és SIK (1995, 1998a, 1998b). Állításuk szerint epidemiológiai kutatások azt sugallják, hogy gyenge összefüggés van az EM térnek való kitettség és a tumoros megbetegedések közt, jelenleg azonban kevés molekuláris mechanizmus magyarázza ezt a hatást. Ezek között ismert a rák és egyéb betegségek kialakulásában a szabad gyökök szerepe. Lehetséges, hogy EM terek megnövelik az in vivo szabad gyökök bomlási idejét és/vagy koncentrációját. Vizsgálataik eredménye röviden

úgy foglalható össze, hogy a 0,335 T indukciójú statikus mágneses térben a humán erithrociták fotohemolízisének az ideje 50 %-al csökkent. KLEINMAN et al. (1998a, 1998b) szintén statikus mágneses tér szerves molekulák fotolízisére gyakorolt hatását vizsgálták. Eredményeik szerint a lassú hasadás sebesség állandója a mágneses indukció növekedésével eleinte gyorsan, majd egyre lassabban csökken. Kísérleti berendezésükben a mágneses tér két oldalról vette körül a sejteket (pólusméret: 10x10 mm), és a mágneses teret egyenfeszültségű tápegységgel szabályozták. OWEN (1998) szintén feltételezi, hogy létezik összefüggés speciális egészségügyi problémák, beleértve a tumoros megbetegedéseket is, és a hálózati frekvenciájú EM terek között. Kísérleteikben az EM tér HL60 sejtekre gyakorolt hatást vizsgálták. A besugárzó kamrában a mágneses indukció 6 μ T volt. A vizsgálatok során nem kaptak olyan evidens eredményeket, amelyek megerősítenék azt a feltételezést, hogy a mágneses tér befolyásolja a MYC kifejlődését. Molekuláris szintű vizsgálatokat végeztek ZHAO et al. (1999). A vizsgálat célja annak a hipotézisnek a tesztelése, hogy 0,1-0,8 mT indukciójú, 60 Hz frekvenciájú mágneses tér hat-e a daganat keletkezésére. Kísérleteik eredménye szerint a mágneses térnek való kitettség során a sejtek hőmérséklete enyhén megemelkedett, s nem volt megállapítható, hogy a hatást a mágneses tér vagy a hőmérséklet emelkedése okozta-e. HORIUCHI et al. (2002) megállapították, hogy 5,2-6,1 T indukciójú mágneses terek nagymértékben csökkentik az *Escherichia coli* sejtpusztulását. Mágneses térben a túlélő sejtek száma mintegy 100000-szer nagyobb a kontrollhoz képest. A tenyészeteket leoltás után 20 óráig inkubálták, s ezt követően 10 óráig tartották mágneses térben. A túlélő

sejtek kontrollhoz képest óriási száma mintegy 70 órával a leoltás után mutatkozott meg. Ilyen erősségű mágneses terek előállításához szupravezető mágnesre van szükség.

3.4.2. EM terek hatása teljes szervezetre

MARINO et al. (2000) 900 MHz-es mikrohullámú sugárzás patkányok hallására gyakorolt hatását vizsgálták. A kontrollhoz képest szignifikáns eltéréseket nem találtak. ZOOK és SIMMENS (2001) 860 MHz-es mikrohullámú sugárzás agydaganat kifejlődését elősegítő hatását vizsgálták patkányokon. Szignifikáns eltéréseket e kísérlet során sem sikerült kimutatni. JAJTE et al. (2002) mágneses tér és vas ionok hatását külön-külön és szimultán vizsgálták patkány lymphocitákra. A kísérleteik során a sejteket három órán keresztül inkubálták 7 mT indukciójú mágneses térben. A mágneses tér előállítására HELMHOLTZ tekercset használtak. Eredményeik szerint az apoptozisos illetve nekrotikus sejtek száma 95 %-os szinten szignifikánsan nem különbözött a kontrollban található ilyen típusú sejtek számától, ha a sejteket mágneses térben tartották, vagy FeCl_2 -vel kezelték. A két kezelés szimultán alkalmazásának hatására viszont az apoptozisos sejtek számában 99, nekrotikus sejtek számában 95 %-os szinten eltérést tapasztaltak a kontrollhoz viszonyítva.

KORPINEN és PARTANEN (1996) 50 Hz frekvenciájú elektromos és mágneses terek emberi vérnyomásra gyakorolt hatását vizsgálták. Az elektromos tér erőssége 3,5-4,3 kV/m, a mágneses tér indukciója 1,4-6,6 μT közt volt. A kísérlet során szignifikáns hatást nem sikerült kimutatni. STAGG et al. (2001) patkánykísérletekben 1,6 GHz-es mikrohullámoknak

a testhőmérsékletre, és a stressz indukálta hormonok szintjére gyakorolt hatását vizsgálták. HARRIS et al. (1998) egérikísérletekben vizsgálták 50 Hz-es mágneses tér rákkeltő hatását. Az alkalmazott indukciók 1, 10, és 1000 μT statikus és 1000 μT pulzáló voltak. Ez utóbbi 15 percre be, és 15 percre ki volt kapcsolva. Kísérleteikből azt a következtetést vonták le, hogy a hosszú ideig ható, 50 Hz-es mágneses térnek nincs rákkeltő hatása. RUZIC et al. (1993) statikus és pulzáló mágneses tér *Castanea sativa* csírájának és gyökerének növekedésére gyakorolt hatását vizsgálták. A pulzáló mágneses tér frekvenciája 2, 12 és 24 Hz, indukciója 250 μT volt, különböző napi időtartammal. Ugyanakkor használtak 1060 mT indukciójú mágneses teret is 24 h/nap időtartammal. A mágneses térnek való kitettség 28 nap volt a csírák, és 21 nap a gyökerek esetében. A legerősebb stimuláló hatása az 1 h/nap időtartamú pulzáló mágneses térnek volt. A 24 h/nap időtartamú mágneses tér enyhén gátló hatású volt. A statikus mágneses térnek nem volt kifejezett hatása. RUZIC et al. (1998a, 1998b) gyenge (105 μT), extrém alacsony frekvenciájú mágneses tér lucfenyő csíranövényre gyakorolt hatását vizsgálták szimultán víz stressz hatása alatt, valamint savas táptalajon. Megállapításaik szerint vízstressz hatás alatt a mágneses tér gátolja a csírázást, míg normális körülmények közt a mágneses tér hatása stimuláló vagy semleges. Alacsony pH értékek mellett a mágneses tér enyhén csökkenti a csíranövény hosszát, és késlelteti a csírázást.

RUZIC et al. (1997) alacsony frekvenciájú mágneses tér *Pisolithius tinctorius* micéliumának növekedésére, valamint a membrán ergosterol tartalmának változására kifejtett hatását vizsgálták. A mágneses teret

HELMHOLTZ tekercspárral állították elő. A táptalajra micélium korongot oltottak le, amelyet a törzstenyészet növekedési zónájából vágtak ki. A tenyészeteket 28 napig 0,025 és 0,1 mT indukciójú, 50 Hz frekvenciájú mágneses térben tartották, s minden 7. napon méréseket végeztek. Megállapították, hogy 0,025 mT indukciójú mágneses térben a micélium növekedése fokozottabb volt a 14. és 21. napok között. Ugyanez a tendencia volt megfigyelhető a tenyészetek száraz és nedves tömegében is. A HPLC analízis enyhén növekvő ergosterol tartalmat mutatott ebben az időszakban, amely még nem teljesen tisztázott módon fontos a micélium növekedéshez, a reprodukcióhoz és a respirációhoz. 0,1 mT indukciójú mágneses térben a stimuláló hatás a szerzők megfigyelései szerint már a 7. és 14. napok közt jelentkezik.

BROERS et al. (1992) a *Mycotypha africana* csírázását vizsgálták 0,8-50 Hz-el modulált 150 MHz frekvenciájú mágneses térben. A mágneses fluxussűrűség 0-1,2 nT közt változott. Tapasztalataik szerint a leghatékonyabb a 10 Hz-el modulált 1,2 nT fluxussűrűségű tér volt. Ekkor már négy órás expozíció során is mintegy 1,2-szeresre növekedett a csírázási arány a kontrollhoz képest. Ezen az arányon az expozíciós idő 24 órára növelése sem változtatott. Minthogy kísérleteiket megfelelően méretezett üregrezonátorban végezték, vizsgálható volt a csírázásnak az elektromos tértől való függése is. Megállapításaik szerint az elektromos térnek nincs megfigyelhető stimuláló hatása.

SADAUSKAS et al. (1987) szerint a mágneses tér élő szervezetekre gyakorolt hatása természetes, hiszen az élő szervezetek a természetes földi mágneses tér hatása alatt alakultak ki, így a mágneses tér megváltozása hatást fejthet ki rájuk. Kísérleteik során 200 mT indukciójú

statikus és 29 mT indukciójú, 0,13 impulzus/s pulzáló mágneses tér hatását vizsgálták különböző gombafajokon. Tapasztalataik szerint az *Aspergillus puniceus* konídium tartói morfológiai elváltozást szenvedtek, a sterigmák hiányoztak. Ugyancsak megváltozott a konídiumok alakja *Alternaria alternata* esetében. Az *Aspergillus niger* esetében pedig megváltozott a kolónia pigmentációja, a tenyészetek sárgás-fehérek maradtak a mágneses tér hatására. Kísérleteik során mérték a gombák amilolitikus és proteolitikus fermentátumainak szintézisét, s megállapították, hogy a növekedés kezdeti stádiumában ezeknek a termékeknek a szintje jelentősen megemelkedett a kontrollhoz képest.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A kísérletekhez használt gombafajok

Vizsgálataink során az 1. táblázatban felsorolt, különböző gombatörzsekbe tartozó gombafajokat használtuk.

1. táblázat. A vizsgált gombafajok

TESZT GOMBÁK	RENDSZERTANI HELY TÖRZS/CSALÁD	SZAPORÍTÓ KÉPLET
<i>Sclerotinia</i> <i>sclerotiorum</i>	ASCOMYCOTA (Sclerotiniaceae)	Szklerócium
<i>Trichoderma</i> sp.	DEUTEROMYCOTA (Moniliaceae)	Konídium
CURVULARIA INAEQUALIS	DEUTEROMYCOTA (Dematiaceae)	Konídium
<i>Alternaria</i> <i>alternata</i>	DEUTEROMYCOTA (Dematiaceae)	Konídium
<i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	DEUTEROMYCOTA (Tuberculariaceae)	KONÍDIUM
<i>Sclerotium bataticola</i> (synmorfa: <i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i>)	DEUTEROMYCOTA (Agonomycetaceae)	Mikroszklerócium

A teszt gomba fajokat paprika, kukorica és napraforgó növényekről izoláltuk. A tenyészeteket burgonya dextróz agaron tartottuk fenn, a kísérletek során pedig CZAPEK agart használtunk. Kísérleteinkhez az inokulumot a törzs-tenyészet növekedési zónájából vettük. A *Sclerotinia* tenyészetek leoltása közvetlenül szkleróciumoknak a táptalajra helyezésével történt. Leoltás után a tenyészeteket 48-72 óráig inkubáltuk termosztátban 22-24 °C-on, sötétben. A kísérletek ugyancsak szobahőmérsékleten történtek.

4.2. A besugárzások eszközei és módszerei

A besugárzásokat vörös, sárga, zöld, kék, közeli UV és UV fénnel végeztük. Az UV fénnel történő besugárzáshoz 125 wattos Hg gőz töltésű lámpát használtunk, amely az UV tartományban sok széles vonalból álló színeképet szolgáltat. Ezek közül a legintenzívebb a 254 nm hullámhosszúságú vonal. A közeli UV sugárzáshoz un. fekete fényű lámpát használtunk, amely lényegében csak a 300-400 nm hullámhossz tartományban sugároz. A sárga fénnel történő megvilágításhoz Na lámpát, a többi hullámhossz tartományban 40 W-os izzólámpákat használtunk, amelyek csak az ismert hullámhossz tartományt jelentő színeket bocsátották ki. Precízebb vizsgálatokhoz célszerű nagyteljesítményű (500-1000 W) Xe lámpát használni, amelynek széles spektrumú sugárzásából a kívánt hullámhossz akár 5 nm pontossággal is kiválasztható interferencia szűrővel vagy rácson monokromátorral. Vizsgálataink során az izzólámpákat és a fekete fényű lámpát a tenyészetek felett 40 cm-el, az UV lámpát 60 cm-el helyeztük el. Ilyen geometriai elrendezés mellett a megvilágítás erősségét PU 150 típusú

fotométerrel, a fényintenzitást pedig LI-COR 185B típusú radiométerrel megmértük. A továbbiakban az un. reciprocitási törvényt használtuk fel, miszerint csak az elnyelt dózis vált ki hatást, ami a sugárzás intenzitásának és a besugárzás időtartamának a szorzata. Így különböző dózisok beállítására a besugárzás időtartamát változtattuk. A fényintenzitás növelése, ezáltal a besugárzási idő csökkentése érdekében parabolikus tükröző felületet terveztünk, amelyet polírozott rozsdamentes acéllemezből elkészítettünk.

A fentebb említett távolságból besugározva a tenyészeteket, azok felületén a megvilágításból eredő hőmérséklet növekedés nem volt megfigyelhető. A hullámhossz tartományokról és az intenzitásról a 2. táblázat ad áttekintést.

2. táblázat. A megvilágítás technikai paraméterei

HULLÁMHOSSZ	MEGVILÁGÍTÁS	INTENZITÁS
[NM]	[LUX]	[MW/CM ²]
760-640 (vörös)	20	0,008
589,6 (sárga)	900	0,095
540-490 (zöld)	35	0,004
490-420 (kék)	35	0,007
400-300 (NUV)	20	0,0015
254 (UV)	6000	0,9

4.3. A mágneses kezelések eszközei

A mágneses térnek különböző élő szervezetekre gyakorolt hatását általában HELMHOLTZ tekercs párban szokták vizsgálni. Ezzel az eszközzel azonban csak viszonylag kis térerősségek állíthatók elő. Ezért a jelen kísérletsorozathoz egy 0,5 m hosszú, 10 cm belső átmérőjű, valamint egy 4,7 cm átmérőjű tekercset (szolenoidot) készítettünk.

Az előbbiben 6 vagy 9 cm átmérőjű PETRI csészék, az utóbbiban pedig 4 cm átmérőjű, speciálisan erre a célra készült PETRI csészék helyezhetők el. Ezekkel a szolenoidokkal tetszőlegesen kis mágneses indukcióktól kb. 5 mT indukcióig tudunk mágneses teret előállítani a tekercsek melegezése nélkül. A tekercsek további jellemzői a következők. Mindkét tekercs 1,6 mm átmérőjű zománcozott rézhuzalból készült, menetsoronként 300 menettel, a menetsorok száma hat, vagyis az összes menetszám 1800. A 2 mm² átmérőjű rézhuzal maximálisan 4 A erősségű árammal terhelhető, ami 18 mT indukciót jelent. 5 mT fölött azonban a tekercset hűteni kell. Ha szükséges volt, akkor erre a célra ventillátort használtunk.

A mágneses indukció változtatása az áramerősség és az indukció közti

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n \cdot I}{l} \quad (4.1)$$

összefüggés segítségével az áramerősség változtatásával lehetséges. A (4.1) összefüggésben B a mágneses indukció, μ_0 az un. vákuum permeabilitása, n a menetszám, I az áramerősség, l pedig a tekercs hossza.

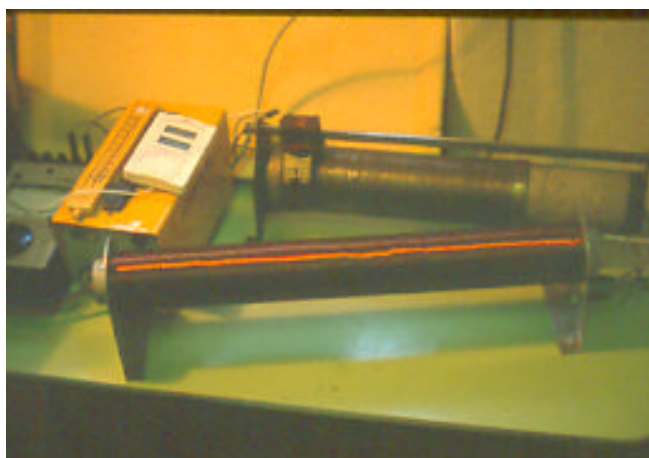
Nagyobb mágneses tereket vasmag légrésében tudunk előállítani. Ennek az eszköznek a hátránya a kis hasznos méret. A légrés

keresztmetszete 2,2 cm, a légrés maximális szélessége pedig 25 mm lehet. Ezzel az eszközzel 100 mT indukciójú mágneses teret lehet előállítani. A mágneses indukció nagyságának a változtatása itt is az áramerősség változtatásával lehetséges a

$$B = \mu_0 \cdot \mu_v \cdot \frac{n \cdot I}{l + \mu_v \cdot b} \quad (4.2)$$

összefüggésnek megfelelően, ahol μ_v a vasmag relatív permeabilitása, b pedig a légrés szélessége.

A mágneses tér előállítására szolgáló 4,7 cm átmérőjű tekercs látható az 1. ábrán. Megfigyelhető itt a tápegység, az áramerősség változtatására szolgáló előtét ellenállás és az áramerősség mérésére szolgáló műszer is.



1. ábra. Változtatható mágneses tér előállítására szolgáló berendezés
(tekercs, tápegység, előtét ellenállás és áramerősség mérő)

4.4. A kísérletek leírása

4.4.1. Konídium csíráztatási kísérletek

Alternaria alternata és *Curvularia inaequalis* konídiumainak csíráztatásához 16 napos, jól sporuláló tenyészetből dugófúróval 9 mm-es korongokat vágunk. A korongokat kis kémcsőbe helyezve leöntöttük 2 ml csapvízzel, és jól felráztuk. Ennek eredményeképpen a konídiumok leváltak a micéliumról. Ezt a konídium szuszpenziót 4 cm-es PETRI csészébe töltöttük, s így az összes kezeléshez szükséges mennyiség egyszerre elhelyezhető volt a fényforrás alatt, vagy a tekercsek mágneses terében.

A 254 nm hullámhosszúságú UV sugárzásnak a konídium csírázásra kifejtett hatását előzetes tesztlések alapján beállított dózisokban vizsgáltuk. Az egyes *Alternaria alternata* konídium szuszpenziók besugárzása 0,9 mW/cm² intenzitással 16, 32, 48, 64, 80, 128 és 256 percig, a *Curvularia inaequalis* konídium szuszpenziók besugárzása 1, 2, 4, 8 és 16 percig tartott. Ennek megfelelően az *Alternaria alternata* konídium szuszpenziók által elnyelt dózis 0,864, 1,728, 2,592, 3,953, 4,320, 6,942 és 13,824 J/cm² a *Curvularia inaequalis* konídium szuszpenziók által elnyelt dózis pedig 0,054, 0,108, 0,216, 0,432 és 0,865 J/cm² volt. A besugárzás után három órával fénymikroszkóp alatt öt ismétlésben leszámoltuk az öt különböző látómezőben látható összes, és a kicsírázott konídiumokat. Az alkalmazott nagyítás 15·10 volt (elől az okulár, majd az objektív nagyítása). A számláláshoz segédeszközként okulár mikrométert használtunk. Ezzel azt is meghatároztuk, hogy egy látómező területe 78,5 mm² volt. A kicsírázott konídiumoknak a teljes konídiumszámhoz való aránya tiszta inaktiváció esetén a (3.12) egyenletnek megfelelően a

besugárzási dózissal exponenciálisan csökken. Az egyes dózisokhoz tartozó N/N_0 arány logaritmusát a dózis függvényében ábrázolva adódik az ún. inaktivációs görbe. Egytalálatos tiszta inaktiváció esetén az inaktivációs görbe negatív meredekségű egyenes kell hogy legyen, amelynek meredeksége a σ inaktivációs hatáskeresztmetszet.

Ugyancsak *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* gombafajon vizsgáltuk a statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér hatását a konídiumok csírázására. A módszer megegyezett az UV-C sugárzás csírázásra kifejtett vizsgálatánál alkalmazottal. A kísérletek során 3 órán keresztül tartottuk a tenyészeteket 0,1, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 és 3,5 mT indukciójú mágneses térben. A talán nem túl szemléletes mágneses indukció helyett használhatjuk a mágneses energiasűrűség értékeit, amelyeket a

$$w_m = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0} \quad (4.3)$$

formulával számolhatunk ki, ahol B a mágneses indukció. A mágneses energiasűrűség értékeire a következők adódtak: 0,00398, 0,099, 0,398, 0,895, 1,591, 2,487, 3,581, 4,874 J/m³. Ebben a kísérlet sorozatban is öt ismételtsben leszámoltuk az egy látómezőben látható összes és a kicsírázott konídiumok számát, ezek átlagértékeit, majd az átlagok arányát, azaz a csírázási százalékot. Végül az egyes kezelések csírázási százalékának és a kontroll csírázási százalékának az arányát vettük.

4.4.2. A *Macrophomina phaseolina* mikroszklerócium eloszlása

A különböző színű fénnel besugárzott *Macrophomina phaseolina* tenyészetekről négy különböző helyen 3-4 mm-es területről CCD

kamerával felvételeket készítettünk. A CCD kamera nagyítása 36,25 volt. Minden felvételen leszámoltuk az egy mm²-re jutó, CCD kamera által megkülönböztetett mikroszkleróciumokat, lemértük továbbá a mikroszkleróciumok legnagyobb és legkisebb átmérőit. Felvettük a szkleróciumok átmérőinek gyakoriságát a 0-0,7 mm tartományban 0,05 mm-ként. A mért gyakoriságokból meghatároztuk az empirikus eloszlás függvényt, amely a számításaink alapján jól közelíthető az

$$F(x) = 1 - e^{-c \cdot x^\alpha} \quad (4.4)$$

alakú WEIBULL eloszlással. Ahol x az átmérő, $F(x)$ pedig az adott átmérőhöz tartozó kumulált gyakoriság, c és α pedig a függvény két paramétere, amelyeket a mérési eredményekhez kell illeszteni.

4.4.3. A képződött konídiumok számának meghatározása

Kísérleteink során meghatároztuk a különböző fénykezelések, illetve a mágneses tér hatását *Alternaria alternata*, *Curvularia inaequalis* és *Fusarium oxysporum* konídium képződésére. A konídium képződés kvantitatív jellemzéséhez a sporuláló tenyészeteket 5 ml csapvízzel leöntöttük, melynek hatására a konídiumok leváltak, s ilyen módon konídium szuszpenzió alakult ki. Ebből a szuszpenzióból cseppentettünk a BUERKER kamrára. Fénymikroszkóp alatt 4 ismétlésben leszámoltuk a BUERKER kamra 10 db 0,004 mm³-es cellájában található konídiumokat. Ezeknek az átlagértéke 250000-el szorozva a konídium szuszpenzió 1 cm³-ben (1ml) található konídiumok számát adja.

4.5. Az alkalmazott matematikai statisztikai módszerek

A különböző kezelések során képződött szkleróciumok tömegét és a mikroszkleróciumok átmérőjét az F és a Student-féle t -próba

felhasználásával viszonyítottuk a kontrollhoz. Ismeretes, hogy a Student-féle t -próba csak akkor alkalmazható, ha az előzetesen elvégzett F próba eredményeként a szórások azonosnak tekinthetők. Ellenkező esetben az átlagértékek a WELCH próbával hasonlíthatók össze. A számítások elvégzése a legtöbb táblázatkezelő programmal (pl. Excel) lehetséges.

A különböző kezelések során képződött konídiumok, szkleróciumok, valamint mikroszkleróciumok számát WILCOXON féle rangszám próbával hasonlítottuk a kontrollhoz.

Kísérletek kiértékelése során gyakori a regressziós egyenes felhasználása. A regressziós egyenes paramétereinek (meredekség és tengelymetszet) a meghatározása jól ismert. Bonyolultabb az eljárás akkor, ha a változók közötti összefüggés nem lineáris. Ilyen esetekben függvény transzformáció útján olyan új változókat kell bevezetnünk, amelyek közötti összefüggés lineáris. Ezt az eljárást használtuk munkánk során a *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetek időbeli növekedésének precíz, a logisztikus függvényt felhasználó leírására.

Korlátlan élettérben a populációk szaporodási rátája, azaz a létszám (méret, stb.) időegységre eső megváltozása állandó. Ebből következően korlátlan élettérben a populáció exponenciálisan növekedik. A logisztikus növekedés egyenletéhez úgy juthatunk, ha feltételezzük, hogy a szaporodási ráta nem állandó, hanem a környezet teherbíró képességéhez alkalmazkodik, olyan formán, hogy minél közelebb van a populáció mérete a környezet teherbíró képességéhez, annál kisebb a szaporodási ráta (WILSON és BOSSET 1981). Az ezzel a feltételezéssel nyert egyenlet megoldása az ún. logisztikus függvény az alábbi

$$N = \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{N_0} - 1 \right) \cdot e^{-r \cdot t}} \quad (4.5)$$

Ahol N a populáció létszáma vagy tenyészet átmérője, stb, K a környezet teherbíró képessége, N_0 a 0 időpillanatbeli méret, r pedig a szaporodási, vagy növekedési ráta. Jelöljük d -vel (N) a tenyészet t időpillanatbeli átmérőjét, d_0 -al (N_0) a 0 időpillanatbeli átmérőt és d_m -el (K) a maximális átmérőt. Ezekkel a jelölésekkel a (4.4) egyenlet az

$$\ln y = \ln a - r \cdot t \quad (4.6)$$

alakra hozható, ahol $y = \frac{(d_m - d)}{(d_m \cdot d)}$ és $a = \frac{(d_m - d_0)}{(d_m \cdot d_0)}$. A

(4.6) szerint $\ln(y)$ az idő lineáris függvénye, ezért a különböző időpillanatokhoz tartozó átmérőkből képzett y értékek logaritmusai és az időpillanat értékekre egyenes illeszthető. Ennek az egyenesnek a meredeksége az r növekedési ráta.

Ehhez hasonló eljárást alkalmaztunk a *Macrophomina phaseolina* tenyészetekben különböző fénykezelések hatására képződött mikroszkleróciumok átmérőinek eloszlásának meghatározására. A (4.4) egyenlet átrendezéssel az alábbi alakra hozható

$$\ln \left(\ln \frac{1}{1 - F(x)} \right) = \ln c + \alpha \cdot \ln x \quad (4.7)$$

Látható, hogy most lineáris összefüggés van az átmérők logaritmusai és a kumulált gyakoriságokból a (4.7) egyenlet baloldalán álló kifejezés közt. Ezekre a mennyiségekre egyenest illesztve a mérési eredményekből a c és α paraméterek meghatározhatók.

5. EREDMÉNYEK

A szakirodalmi áttekintésből megállapítható, hogy különböző szerzők viszonylag széles körben foglalkoztak a különböző hullámhossz tartományba eső sugárzások konídiumos gombák, illetve szűkebb körben a tömlős gombák sporulációjára gyakorolt hatásával. Munkánk során a fő cél a különböző hullámhossz tartományba eső sugárzásoknak (beleértve az elektromágneses tereket is) a kiválasztott gombák konídium csírázására, micélium növekedésére, valamint konídium- és szklerócium képzésére gyakorolt hatásának vizsgálata volt.

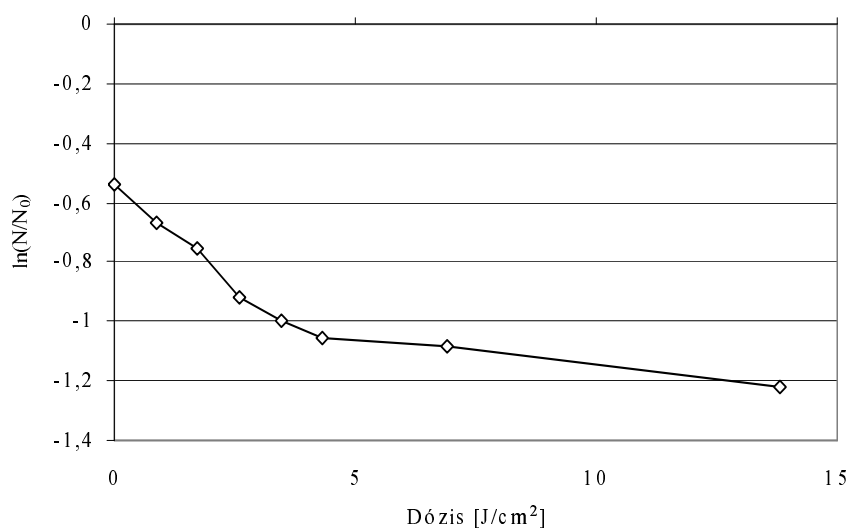
5.1 Fény és kisfrekvenciás mágneses terek hatása a konídium csírázásra.

5.1.1. UV sugárzás hatása a konídium csírázásra

A 254 nm hullámhosszúságú UV sugárzásnak a konídium csírázásra kifejtett hatását *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* gombafajokon vizsgáltuk, amelyet paprika magokról izoláltunk. *Alternaria alternata* esetén a besugárzási időket, dózisokat, az egy látómezőben található konídiumok átlagos számát, a csírázó konídiumok átlagos számát és a csírázási arányát a 3. táblázatban foglaltuk össze. A (3.12) egyenletnek megfelelően a 2. ábrán a csírázási arány logaritmusát tüntettük fel a dózis függvényében (inaktivációs görbe). *Curvularia inaequalis* esetére ugyanezeket az adatokat a 4. táblázatban foglaltuk össze, a 3. ábrán pedig a *Curvularia inaequalis* inaktivációs görbét tüntettük fel.

3. táblázat. *Alternaria alternata* konídiumok csírázási aránya UV-C sugárzást követően

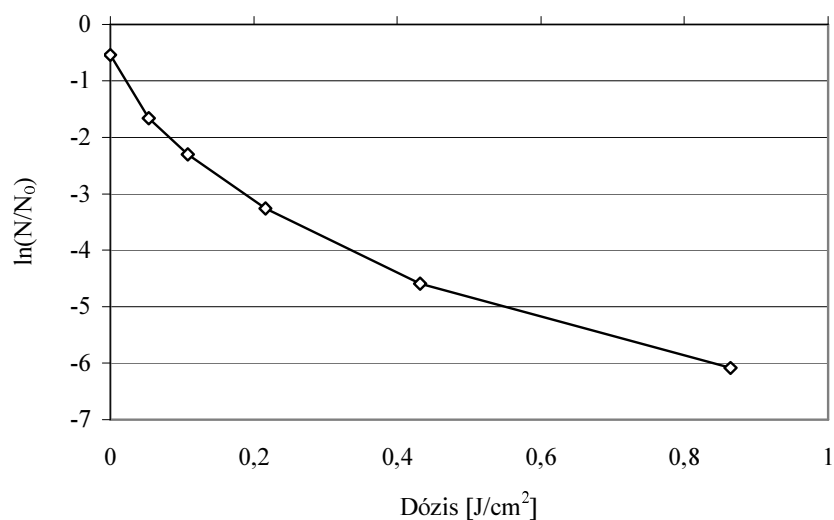
Besugárzási dózis [J/cm^2]	Összes konídium [db.]	Csírázó konídium [db.]	Csírázási arány
0	$27,8 \pm 8,58$	$16,2 \pm 5,36$	$0,584 \pm 0,055$
0,864	$23,2 \pm 4,15$	$11,6 \pm 2,30$	$0,511 \pm 0,121$
1,728	$45,4 \pm 4,28$	$21,1 \pm 1,87$	$0,465 \pm 0,057$
2,592	$34,2 \pm 4,82$	$13,6 \pm 2,07$	$0,398 \pm 0,016$
3,953	$32,0 \pm 7,62$	$11,8 \pm 2,77$	$0,369 \pm 0,010$
4,320	$20,6 \pm 9,34$	$7,2 \pm 3,56$	$0,349 \pm 0,080$
6,942	$17,4 \pm 4,77$	$6,0 \pm 2,45$	$0,338 \pm 0,060$
13,825	$13,6 \pm 3,36$	$4,0 \pm 1,41$	$0,299 \pm 0,110$



2. ábra. *Alternaria alternata* konídiumok inaktivációs görbéje

4. táblázat. *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázási aránya UV-C sugárzást követően

Besugárzási dózis [J/cm^2]	Összes konídium [db.]	Csírázó konídium [db.]	Csírázási arány
0	$16,2 \pm 6,92$	$9,4 \pm 5,03$	$0,580 \pm 0,170$
0,054	$19 \pm 9,14$	$3,6 \pm 2,19$	$0,189 \pm 0,130$
0,108	$14,0 \pm 7,84$	$1,4 \pm 1,14$	$0,100 \pm 0,050$
0,216	$36,6 \pm 10,94$	$1,4 \pm 0,55$	$0,038 \pm 0,018$
0,432	$59,2 \pm 5,81$	$0,6 \pm 0,55$	$0,010 \pm 0,009$
0,865	$87,8 \pm 31,94$	$0,2 \pm 0,45$	$0,002 \pm 0,003$



3. ábra. *Curvularia inaequalis* konídiumok inaktivációs görbéje

Mindkét ábrán látható, hogy az N/N_0 arány logaritmusának a dózistól való függés nem tisztán exponenciális. Ennek az egyik

lehetséges magyarázata az, hogy az inaktiváció mellett figyelembe kell vennünk a reaktivációt is, vagyis azt a jelenséget, hogy a besugárzás után bizonyos számú konídium nem veszíti el életképességét, újra csírázásnak és növekedésnek indul. Kis dózisoknál az inaktiváció szinte kizárólagos, ezért a függvény lineárisan csökkenni kezd. Az idő előrehaladtával egyre inkább szerephez jut a reaktiváció, ami a függvény meredekségének csökkenését eredményezi. Ekkor matematikailag a függvény zérus dózishoz tartozó érintője adja meg az inaktivációs hatáskeresztmetszetet. Az inaktivációs hatáskeresztmetszetet jó közelítéssel megkaphatjuk, ha egyenest illesztünk a görbe néhány első pontjára. Esetünkben a 2. és 3. ábrán adott görbék első három pontjára egyenest illesztve az 5. táblázatban összefoglalt eredmények adódtak.

5. táblázat. *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* inaktivációs és reaktivációs hatáskeresztmetszetei

	Inaktivációs hatáskeresztmetszet [cm ² /J]	Félletális dózis [J/cm ²]
<i>Alternaria alternata</i>	0,126	5,5
<i>Curvularia inaequalis</i>	16,28	0,043

Az inaktivációs hatáskeresztmetszet szemléletes jelentése, hogy - az (3.12) egyenlet átalakításával $-\ln 2/\sigma$ megadja a konídiumok felének inaktiválásához szükséges dózist, az ún. félletális dózist. A félletális dózisok értékeit szintén az 5. táblázatban tüntettük fel. Az adatokat összehasonlítva megállapítható, hogy az *Alternaria alternata* konídiumai

mintegy 130-szor akkora UV-C dózist képesek elviselni, mint a *Curvularia inaequalis* konídiumai.

A 2. és a 3. ábra alapján megállapítható, hogy a 254 nm hullámhosszúságú UV-C sugárzás még az általunk alkalmazott legnagyobb dózisban is szinte hatástalan az *Alternaria alternata* konídiumok csírázására, hiszen a csírázási arány még itt is közel 30 %. Ugyanakkor a *Curvularia inaequalis* csírázási százaléka az előzőnél jóval kisebb dózis esetén is csak mintegy 0,3 %.

Alternaria alternata és *Curvularia inaequalis* konídiumok UV-C sugárzás hatására bekövetkező inaktivációjáról nincs irodalmi adatunk. Összehasonlításként azonban megemlíthető, hogy *Botrytis cinerea* esetében a letális dózis csak 1 J/cm^2 , *Monilinia fructigena* esetében pedig csak $0,5 \text{ J/cm}^2$ (MARQUENIE et al. 2002).

Az UV-C sugárzás napi dózisáról nincsenek közvetlen adataink. Ugyanakkor a földfelszínen mérhető és a légkör felső határán elméletileg ismert intenzitásokból megbecsülhető, hogy az UV-C sugárzás dózisa maximum $1,1\text{-}1,3 \text{ J/cm}^2$ az április - augusztus hónapokban. Ez az érték lényegesen alatta marad az *Alternaria alternata* konídiumok 50 százalékanak inaktiválásához szükséges dózishoz, vagyis ezek a konídiumok az UV-C sugárzásnak igen ellenálló képződmények. Túlélésüket az UV-C sugárzás intenzitásának jelentős mértékű - pl. az ózonpajzs elvékonyodásából eredő - növekedése sem csökkenti jelentős mértékben.

5.1.2. Statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér hatása a konídium csírázásra

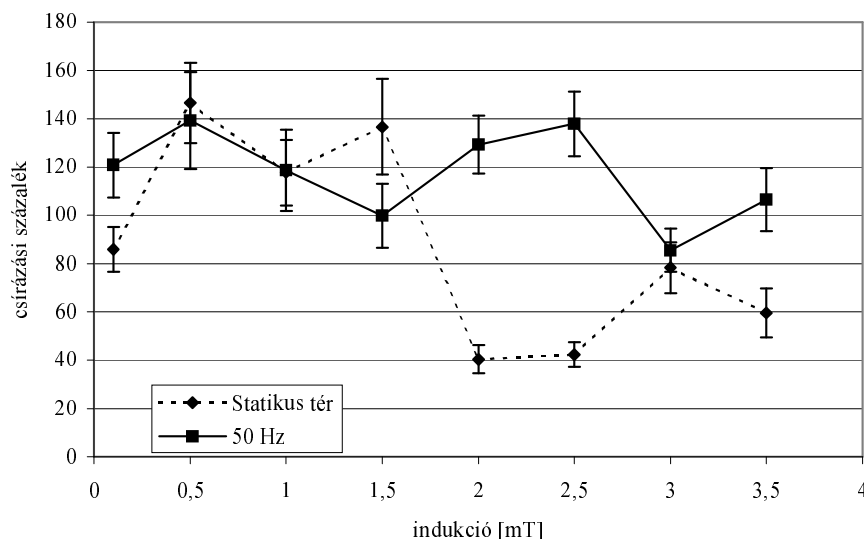
A mágneses térnek a konídium csírázásra kifejtett hatását szintén *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* gombafajokon vizsgáltuk. A kiértékelés 4.4.1. pontban leírtaknak megfelelően történt.

6. táblázat. *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázási aránya 3 órás mágneses kezelést követően

Mágneses indukció [mT]	Összes/csírázó konídium [db.] (statikus)	Csírázási arány (statikus)	Összes/csírázó konídium [db.] (50 Hz)	Csírázási arány (50 Hz)
Kontroll	55,2/23,4	0,42 ± 0,10	41,8/16,0	0,38 ± 0,05
0,1	93,4/34	0,36 ± 0,02	32,0/14,8	0,46 ± 0,02
0,5	66,0/41,0	0,62 ± 0,06	24,4/13,0	0,53 ± 0,15
Kontroll	79,0/17,4	0,22 ± 0,05	10,2/4,2	0,41 ± 0,11
1	48,6/12,6	0,26 ± 0,03	26,2/12,8	0,49 ± 0,08
1,5	53,8/16,2	0,30 ± 0,07	39,4/16,2	0,41 ± 0,05
Kontroll	40,2/17,4	0,43 ± 0,09	41,8/13,0	0,31 ± 0,05
2	57,2/10,0	0,18 ± 0,04	19,4/7,8	0,40 ± 0,05
2,5	30,6/5,6	0,18 ± 0,03	73,2/31,4	0,43 ± 0,06
Kontroll	41,2/18,6	0,45 ± 0,10	31,6/15,0	0,48 ± 0,06
3	19,8/7,0	0,35 ± 0,08	20,2/8,2	0,41 ± 0,08
3,5	32,0/8,6	0,27 ± 0,08	18,2/9,2	0,51 ± 0,12

Curvularia inaequalis esetén a mágneses indukció értékeit, az egy látómezőben található konídiumok átlagos számát, a csírázó konídiumok

átlagos számát és a csírázási arányt a 6. táblázatban foglaltuk össze. A kezelt tenyészetek csírázási arányának a kontrollhoz viszonyított értékeit a 4. ábrán tüntettük fel. *Alternaria alternata* esetére ugyanezeket az adatokat a 7. táblázatban foglaltuk össze, illetőleg az 5. ábrán tüntettük fel.



4. ábra. Statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér hatása a *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázására.

A 4. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a statikus mágneses tér mintegy 1,5 mT indukcióig ($0,895 \text{ J/m}^3$ energiasűrűség) a kontrollhoz képest jelentősen megnöveli a *Curvularia inaequalis* csírázási arányát, ennél nagyobb térerősség viszont jelentősen lerontja ezt. Összességében más a helyzet az 50 Hz frekvenciájú mágneses térrel. A grafikon alapján azt mondhatjuk, hogy a szinuszos mágneses tér inkább stimuláló hatással

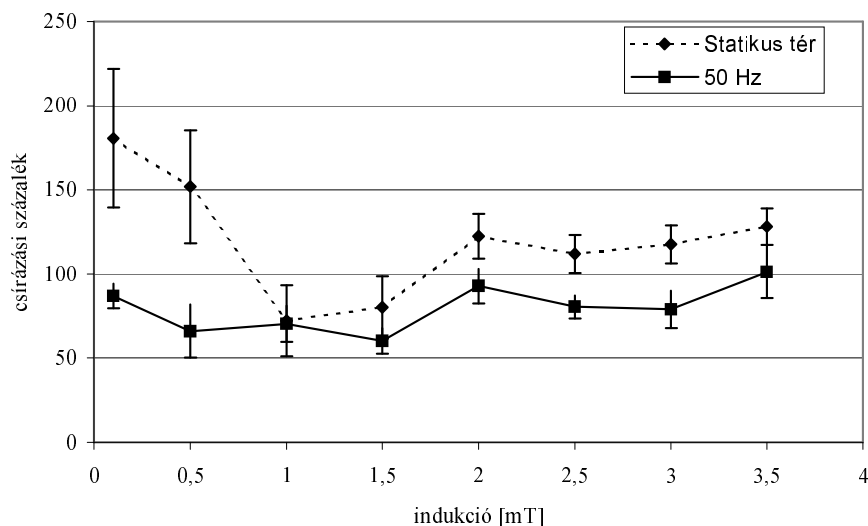
van a *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázására, kivéve talán az alkalmazott legnagyobb mágneses térerősséget.

7. táblázat. *Alternaria alternata* konídiumok csírázási aránya 3 órás mágneses kezelést követően

Mágneses indukció [mT]	Összes/csírázó konídium [db.] (statikus)	Csírázási arány (statikus)	Összes/csírázó konídium [db.] (50 Hz)	Csírázási arány (50 Hz)
Kontroll	9,4/3	0,33 ± 0,11	27,8/16,2	0,58 ± 0,06
0,1	8,2/4,6	0,60 ± 0,23	24,8/12,4	0,51 ± 0,08
0,5	7,8/3,8	0,50 ± 0,18	21,8/8,4	0,39 ± 0,20
Kontroll	11,8/4,4	0,37 ± 0,09	13,6/9,8	0,75 ± 0,15
1	6,8/2	0,27 ± 0,16	34,0/17,6	0,53 ± 0,15
1,5	8,6/2,4	0,30 ± 0,14	17,2/7,8	0,45 ± 0,09
Kontroll	22,6/10,6	0,46 ± 0,09	13,4/7,0	0,51 ± 0,07
2	14,2/8	0,56 ± 0,08	17,4/8,6	0,48 ± 0,10
2,5	31,6/16,2	0,51 ± 0,06	26,2/10,8	0,41 ± 0,05
Kontroll	39,6/18,8	0,47 ± 0,06	13,4/7,0	0,51 ± 0,07
3	16,4/9	0,55 ± 0,09	18,6/7,4	0,41 ± 0,11
3,5	32,4/19	0,60 ± 0,08	13,2/6,4	0,52 ± 0,17

Az 5. ábra alapján összefoglalóan azt mondhatjuk, hogy ennél a gombafajnál a statikus mágneses térnek inkább stimuláló hatása van a konídiumok csírázására. A csírázási arány átlagosan 120 %-a a kontroll csírázási arányának, kivéve az 1 és 1,5 mT indukciójú teret. Az 50 Hz frekvenciájú szinuszos mágneses tér pedig kismértékben gátolja a

konídium csírázást, a csírázási arány átlagosan 80 %-a a kontroll csírázási arányának.



5. ábra. Statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses tér hatása az *Alternaria alternata* konídiumok csírázására.

5.2. Fény és statikus mágneses tér hatása a mikrogombák micélium növekedésére

5.2.1. UV sugárzás hatása a micélium növekedésre

Kísérleteinket a 4.1. pont alatt leírt növénypatogén mikroszkópikus gombákon végeztük, Hg gőz töltésű lámpa felhasználásával.

Kísérletsorozatunkban azt vizsgáltuk, hogy az UV sugárzás milyen hatással van a mikroszkópikus gombák micélium növekedésére és sporulációjára. Ezen a téren irodalmi adatok nem álltak

rendelkezésünkre, ezért előzetes, tájékoztató kísérleteket végeztünk *Sclerotinia sclerotiorum* gombafajon. Ennek eredményeképpen megállapítottuk, hogy 30 percig tartó, $0,9 \text{ mW/cm}^2$ intenzitású ($1,620 \text{ J/cm}^2$ dózisu) UV sugárzás képes a micélium növekedést mintegy 48 órán keresztül gátolni. További megfigyelések szerint ha a tenyészetet 48 óránként feleződő dózisu UV sugárzással sugároztuk be, a tenyészet növekedése nem indult meg. Szisztematikus kísérleteket végezve az egyes tenyészetek átmérőire vonatkozóan a 8., 9. és 10. táblázatban összefoglalt eredmények adódtak.

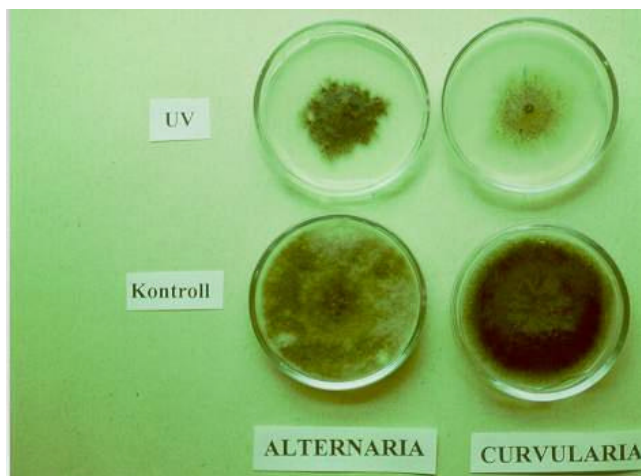
Alternaria alternata és *Curvularia inaequalis* UV-vel besugárzott tenyészeinek növekedésével kapcsolatban megállapítható, hogy a 48 óránként alkalmazott 30, 15 és 8 perces besugárzás gátolja a micélium növekedését. Mérési eredményeink alapján viszont megállapíthatjuk, hogy a 4 perces besugárzásnak már nincs, vagy legalábbis nem olyan erőteljes a gátló hatása, hiszen ezután a besugárzás után mindkét tenyészet növekedése kb. 5 mm 24 óra alatt.

A leoltástól számított 14. napon a besugárzott *Alternaria* tenyészetek micéliuma a táptalajba süllyedt, a táptalaj felszínhez közeli részén kevés konídiumképzés figyelhető meg. Ugyanekkor a besugárzott *Curvularia* tenyészetben konídiumképzés nem volt megfigyelhető. A micélium teljesen a táptalajba süllyedt és a normál micélium duzzadt, láncszerűen képződött sejtekké alakult át. Az ismételt besugárzások hatására kifejlődő tenyészetek a 6. ábrán láthatók. Megfigyelhető, hogy amíg a kontroll tenyészetek már benőtték a PETRI csészéket, és erőteljesen sporulálnak, addig a kezelt tenyészetek alig-alig növekedtek, viszont gyér sporuláció ezeknél is megfigyelhető.

8. táblázat. *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* tenyészetek növekedése az idő függvényében 0,9 mW/cm² intenzitású UV sugárzás hatására

Tenyészet átmérője [mm]					
		<i>Alternaria alternata</i>		<i>Curvularia inaequalis</i>	
Idő [h]	Besugárzási idő [min]	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
52	30	15	15	17,125	17
66,5		23	14,75	24	17,75
98	15	32,25	15,5	30,5	17,75
125		39,125	15	34,5	17
143,5	8	43,25	15	36,5	17,5
171,5		52	15	43,5	17,5
198,5	4	52	15,5	49,125	17,5
220		52	21	52	22
246,5		52	26,5	52	29,25

A *Macrophomina phaseolina* és *Trichoderma* sp. tenyészetekkel végzett kísérletben mindkét tenyészet viszonylag fejlett állapotban volt a besugárzások megkezdésekor, s megállapítható, hogy még a 30 perces első besugárzás sem okozott 48 óráig tartó teljes gátlást a micélium növekedésében.



6 ábra. *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* tenyészetek ismételt UV-C sugárzás hatására

9. táblázat. *Macrophomina phaseolina* és *Trichoderma* sp. tenyészetek növekedése az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás hatására

		Tenyészet átmérője [mm]			
		Macrophomina phaseolina		Trichoderma sp	
Idő [h]	Besugárzási idő [min]	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
72	30	49,375	48	43,875	42,375
96		52	47,125	45,5	39,5
120	15	52	50,125	52	46,875 (21,75)
144		52	52	52	51,125
168	8	52	52	52	47,25 (25,25)

A tenyészetek átlagos átmérőire vonatkozó adatokból azonban megállapítható, hogy a sugárzás inkább gátló hatású volt a *Trichoderma* sp.-re. Annak kiderítése, hogy ez a két gombafaj viszonylag ellenálló-e az UV sugárzással szemben, vagy pedig általában fejlettebb kultúrák lényegesen ellenállóbbak mint a fiatalabbak, további kísérletek beállítását igényli.

A *Trichoderma* sp.-vel kapcsolatos megfigyelés volt az, hogy 48 órával a besugárzás után a sporuláció a tenyészet területén megszűnt, csak egy viszonylag kis átmérőjű sporuláló korong maradt. Ezeknek a korongoknak az átlagos átmérőjét a 9. táblázatban 120 és 168 óránál zárójelben adtuk meg.

A *Fusarium oxysporum* és *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetekkel végzett kísérletek során a 15 perces kezdő besugárzással annak vizsgálata volt a cél, hogy kisebb kezdeti dózisok elegendőek-e a növekedés gátlásához.

Az eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy *Fusarium oxysporum* esetén ez a dózis nem elegendő, viszont a *Sclerotinia sclerotiorum* esetében ez a kezdeti dózis is elegendő a micélium növekedés 48 óráig történő gátlásához. Mindkét tenyészetrel kapcsolatban megemlíthető, hogy a kontrollal ellentétben a micélium erősen belenőtt a táptalajba, a micélium a táptalajtól nem választható el.

10. táblázat. *Fusarium oxysporum* és *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetek növekedése az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás hatására

Tenyészet átmérője [mm]					
		<i>Fusarium oxysporum</i>		<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
Idő [h]	Besugárzási idő [min]	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
72	15	29,5	28,875	18	16,625
96		41,875	29,125	30,25	15,625
120	8	52	33,25	49,125	16,875
144		52	36,375	52	16,125
168	15	52	42,125	52	19,375
192		52	42,875	52	18,375
216	12	52	45,375	52	20,875
240		52	46,625	52	22,125
288	12	52	48,75	52	23,875
312		52	51	52	25,25
336	12	52	52	52	25,5

A *Fusarium oxysporum* tenyészetben keletkezett mikro- és makrokonídiumokat 25 nappal a tenyészet leoltása után BUERKER kamrában leszámoltuk. A kontroll tenyészetben ml-ként átlagosan 1380000 mikrokonídium és 208300 makrokonídium volt megfigyelhető. Az UV-vel kezelt tenyészetekben, megegyezésben a *Curvularia inaequalis*-al, ekkor sem mikro- sem pedig makrokonídium nem volt megfigyelhető. Ennél a két gombafajnál a csökkenő dózisé, ismételt UV

sugárzás hatására a tenyészetek konídium képzése (legálabbis átmenetileg) inaktiválódott. Az *Alternaria alternata* ebben a tekintetben némiképp ellenállóbb, hiszen ezekben a tenyészetekben gyér konídium képződés megfigyelhető volt.

5.2.2. UV sugárzás és sárga fény hatása a micélium növekedésre

Az *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* tenyészeteken a 48 óránként alkalmazott, csökkenő dózisú besugárzást azzal a módosítással is elvégeztük, hogy az UV-vel történő sugárzással párhuzamosan, valamint ahhoz képest 24 órás késleltetéssel a tenyészeteket $0,095 \text{ mW/cm}^2$ intenzitású sárga (589,6 nm) fénnel 35 percig megvilágítottuk. Ezzel az ezen a hullámhosszon elnyelt dózis éppen 200 mJ/cm^2 volt. A cél ezzel a kísérlettel annak vizsgálata volt, hogy az UV sugárzás inaktiváló hatása hosszabb hullámhosszúságú fénnel való megvilágítással ellensúlyozható-e, azaz megfigyelhető-e az un. reaktiváció jelensége. Az említett két gombafajra a tenyészet átmérőire vonatkozó mérési eredmények átlagértékeit a 11. és a 12. táblázat tartalmazza.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az egyidejű UV sugárzás és a sárga fénnel történő megvilágítás nem gátolja olyan mértékben a tenyészet növekedését, mint a tiszta UV sugárzás. Az UV sugárzást 24 órás késleltetéssel követő sárga fénnel történő megvilágítás hatása a reaktivációra még jobb, mint az egyidejű megvilágításé. A *Curvularia inaequalis* tenyészeteknél az egyidejű sárga fénnel történő megvilágításnak nincs hatása, viszont a késleltetett megvilágítás itt is hatásos.

11. táblázat. *Alternaria alternata* tenyészetek átlagos átmérője mm-ben az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás és 0,2 J/cm² dózisú sárga fény hatására

Idő [h]	Besugárzás [min]	Kontroll D [mm]	Egyidejű D [mm]	24 órás késleltetés D [mm]
72	30	23,125	22,5	23
96		28,375	23	27,167
120		33,75	26,333	26,833
144	15	40,125	26,667	30,333
168		44,75	31,167	33,667
192		50,525	32,233	35,55
216	8	52	34,333	38

12. táblázat. *Curvularia inaequalis* tenyészetek átlagos átmérője mm-ben az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás és 0,2 mJ/cm² dózisú sárga fény hatására

Idő [h]	Besugárzás [min]	Kontroll D [mm]	Egyidejű D [mm]	24 órás késleltetés D [mm]
72	30	25,75	24,875	24,875
96		33,875	24,125	29,667
120		38	24	29
144	15	42,125	24,5	29,667
168		47	24,5	30,833
192		52	24,5	32,383
216	8	52	24,5	33,575

Ezt a kísérletet a tapasztalatok alapján megismételtük *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium oxysporum* és *Trichoderma* sp. fajokkal is oly módon, hogy a sárga fénnel történő megvilágítást csak 24 órás késleltetéssel alkalmaztuk.

A tenyészetek növekedésének adatait 13., 14. és 15. táblázat tartalmazza. A várakozással ellentétben ennél a három gombafajnál nem figyelhető meg a sárga fénnel történő megvilágítás reaktiváló hatása.

13. táblázat. *Macrophomina phaseolina* tenyészetek átlagos átmérői mm-ben az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás és 0,2 mJ/cm² dózisú sárga fény hatására

Idő [h]	Besugárzás [min]	Kontroll D [mm]	UV + sárga D [mm]
48		12,625	-
72	30	38,875	37,5
96		52	37,5
120	15	52	41,33
144		52	44
168		52	43,55

14. táblázat. *Fusarium oxysporum* tenyészetek átlagos átmérője mm-ben az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás és 0,2 mJ/cm² dózisú sárga fény hatására

Idő [h]	Besugárzás [min]	Kontroll D [mm]	Csak UV D [mm]	UV + sárga D [mm]
48	30	16,875	15,833	17
72		30,75	13,333	14,667
96	15	49,625	18,667	21,667
120		52	17,500	20,667
144	8	52	24,667	23,667
168		52	28,833	28
192		52	29,589	29,044

15. táblázat. *Trichoderma* sp. tenyészetek átlagos átmérője mm-ben az idő függvényében 0,9 mW/cm² UV sugárzás és 0,2 mJ/cm² dózisú sárga fény hatására

Idő [h]	Besugárzás [min]	Kontroll D [mm]	Csak UV D [mm]	UV + sárga D [mm]
48	30	21,5	23,250	21,500
72		39,25	24	22,167
96	15	50,5	29,750	29,833
120		52	25,750	23,333
144	8	52	29	27,500
168		52	30,500	30,500
192		52	31,767	31,256

5.2.3. Statikus mágneses tér hatása a micélium növekedésre

Az anyag és módszer c. fejezetben leírt gombafajok micéliumának növekedését a kezelés kezdetétől 24 óránként mértük 0,1, 0,5 és 1 mT indukciójú statikus mágneses térben. A kezelést négy ismételtesben végeztük, átmérőnek a négy ismételtes átlagát vettük. A micélium növekedés középső, nagyon jó közelítéssel lineárisnak tekinthető szakaszára egyenest illesztve adódott a növekedési sebesség mm/h-ban.

16. táblázat. Az egyes gombafajok növekedési sebessége statikus mágneses térben

	Növekedési sebesség [mm/h]					
	0,1 mT		0,5 mT		1 mT	
Gombafaj	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
<i>Alternaria</i>	0,334	0,301	0,229	0,221	0,297	0,252
<i>alternata</i>	±0,0297	±0,0205	±0,0179	±0,0280	±0,0493	±0,0951
<i>Curvularia</i>	0,560	0,495	0,211	0,169	0,201	0,194
<i>inaequalis</i>	±0,0404	±0,0381	±0,0563	±0,0347	±0,0675	±0,0891
<i>Fusarium</i>	0,503	0,461	0,616	0,576	0,469	0,440
<i>oxysporum</i>	±0,0370	±0,0422	±0,1496	±0,1674	±0,1166	±0,1489
<i>Trichoderma</i>			0,701	0,491	0,169	0,143
sp.						
<i>Macrophomina</i>	1,222	1,216	0,820	0,786	0,109	0,083
<i>phaseolina</i>						
<i>Sclerotinia</i>			0,503	0,484	0,504	0,484
<i>sclerotiorum</i>						

Az adatokból a 95 százalékos konfidencia intervallumokat is meghatároztuk. A növekedési sebességeket és a konfidencia intervallumot a 16. táblázat tartalmazza.

A 16. táblázat adatai alapján megállapíthatjuk, hogy mind a hat tenyészet növekedési sebessége bármely alkalmazott térerősségnél kisebb mágneses térben, mint a kontroll tenyészet növekedési sebessége. Szemléletesebben látható ez a 17. táblázat adatai alapján, amely a kontrollhoz viszonyított relatív növekedési sebességeket tartalmazza százalékban.

17. táblázat. Az egyes gombafajok kontrollhoz viszonyított relatív növekedési sebessége

	Relatív növekedési sebesség a kontroll százalékában		
	0,1 mT	0,5 mT	1 mT
<i>Alternaria alternata</i>	90,2	96,4	84,9
<i>Curvularia inaequalis</i>	88,5	79,8	96,3
<i>Fusarium oxysporum</i>	91,7	92,0	93,9
<i>Trichoderma</i> sp.		70,1	84,6
<i>Macrophomina phaseolina</i>	99,5	95,9	76,2
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>		84,6	96,1

5.2.4. Természetes megvilágítás hatása a *Sclerotinia sclerotiorum* növekedésére

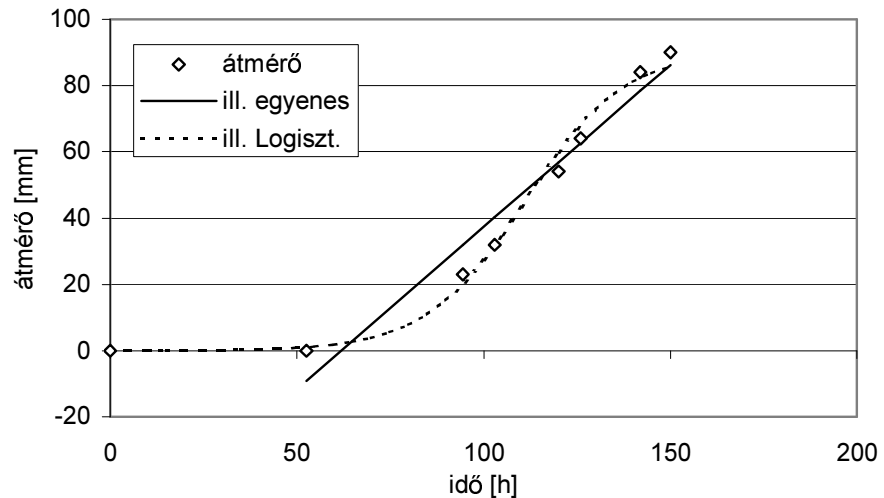
Éjjel sötétben, nappal 50-80 lux megvilágítás mellett szobahőmérsékleten tartott tenyészetek átmérőit mértük az idő függvényében. Az átmérőket két, egymásra merőleges irányban mértük s ezek átlagértékeit vettük. Egy tenyészet átlagértékeit tartalmazza a 18. táblázat.

18. táblázat. Sötétben tartott tenyészet átmérőjének növekedése

	0	52,5	94,5	103	120	126	142	150
Idő [h]								
Átmérő [mm]	0	0	23	32	54	64	84	90

Gyakori vagy teljesen általános, hogy a micélium növekedést az idővel egyenesen arányosnak veszik. A 18. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy gomba tenyészetek növekedésére is alkalmazható az élő szervezetek korlátozott élettérben való növekedését leíró logisztikus függvény. A 18. táblázatban feltüntetett átmérők, valamint a 4.5 pontban megadott módon illesztett logisztikus függvény látható a 7. ábrán. Összehasonlításképpen feltüntettük az adatokra illesztett egyenest is.

Az ábra alapján megállapítható, hogy a logisztikus függvény szorosabban illeszkedik a mérési eredményekre, amit a korrelációs együtthatók is jeleznek. Az egyenes illesztésénél $r^2 = 0,95$, míg a logisztikus függvény esetében $r^2 = 0,97$. Az egyenesnél még egy egyszerű exponenciális függvény is jobb $r^2 = 0,96$ értékkel.



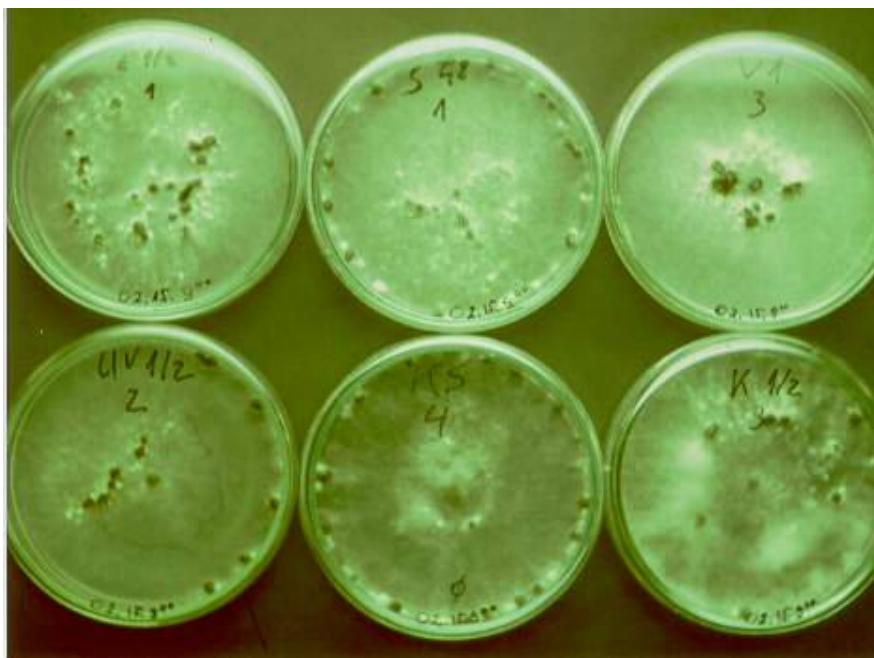
7. ábra. *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészet növekedésének közelítése egyenessel, illetve logisztikus függvénnyel

5.3. Fény és statikus mágneses tér hatása a konídium- és szklerócium képződésre

5.3.1. Látható fény hatása a *Sclerotinia sclerotiorum* szklerócium képzésére

A keletkezett szkleróciumok megszámlálása a besugárzástól számított hetedik napon történt meg. Az UV-vel besugárzott tenyészetben ekkor még csak szklerócium kezdemények voltak megfigyelhetők, ezért itt a számlás három nappal később történt. Sötétben tartott kontroll tenyészeteknél megfigyelhető, hogy a szkleróciumok a PETRI csésze falánál keletkeznek. Különböző besugárzásokat alkalmazva megfigyelhető volt, hogy szkleróciumok

keletkeztek besugárzáskori területén, a PETRI csésze falánál és a köztes területen is. A különböző fénnel történő megvilágítás hatására képződött szkleróciumokat szemléltetjük a 8. ábrán.



8. ábra. Különböző fénnel történt megvilágítás hatására keletkező szkleróciumok

A szkleróciumszámot a 0,5 és 1 órás, sárga fénnel 0,1 és 0,8 illetve zöld fénnel 0,5 és 4 órás megvilágítás eredményét az 19. táblázat tartalmazza.

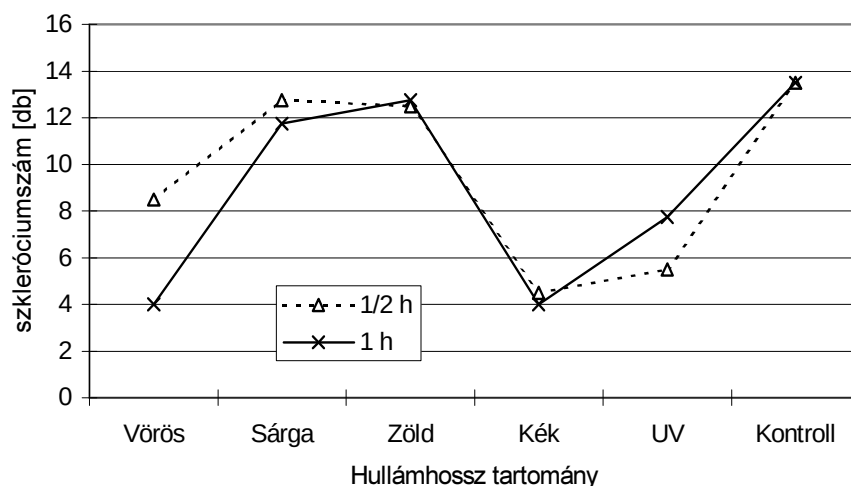
19. táblázat. A megvilágítás hatására *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetekben képződött szkleróciumok átlagos számára [db.]

	0,5 óra		1 óra	
	Átlag	Wilcoxon próba	Átlag	Wilcoxon próba
Kontroll	13,5		13,5	
Vörös	8,5	NS	4	*
Sárga	12,75	NS	11,75	NS
Zöld	12,5	NS	12,75	NS
Kék	4,5	*	4	*
UV	5,5	*	7,75	*

A tenyészetekkel kapcsolatban az alábbi kvalitatív megfigyeléseket tehetjük.

1. A sárga és zöld fénnel kezelt tenyészetekben több, de apróbb szklerócium képződött, jelentős számban a besugárzáskori tenyészet kerületén, illetve ezen kör és a PETRI csésze fala közti területen.

2. A vörös és kék fénnel besugárzott tenyészetben viszonylag kevés, de nagy szklerócium képződött. A szkleróciumszámnak a megvilágító fény hullámhosszától való függése a 9. ábrán látható.



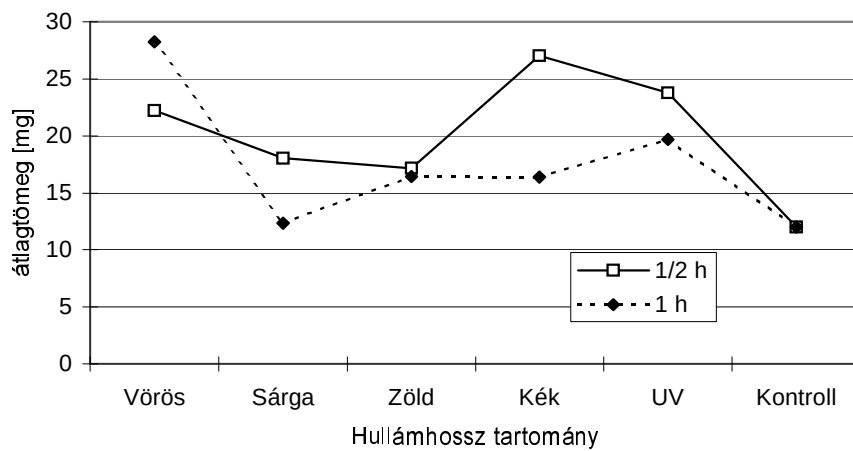
9. ábra. A képződött szkleróciумok átlagos száma a megvilágító fény hullámhosszánaк függvényében.

Minden kezelésből a besugárzást követő 17. napon kiválasztottunk 10 db jellemző, átlagos szkleróciумot, ezek tömegét kb. 24 óráс, szobahőmérsékletű levegőn történt szárítás után lemértük. Az egyes kezelések és a kontroll között t-próbát, illetőleg amikor az előzetes F próba alapján a szórások nem voltak azonosak WELCH próbát végeztünk. Az átlagtömegeket és a statisztikai próbák eredményét a 20. táblázatban tüntettük fel. A statisztikai próbák alapján szignifikáns eltérés csak vörös fénnel megvilágított tenyészeteknél figyelhető meg. Itt a szkleróciум tömegek szignifikánsan nagyobbak, mint a kontroll tenyészetben.

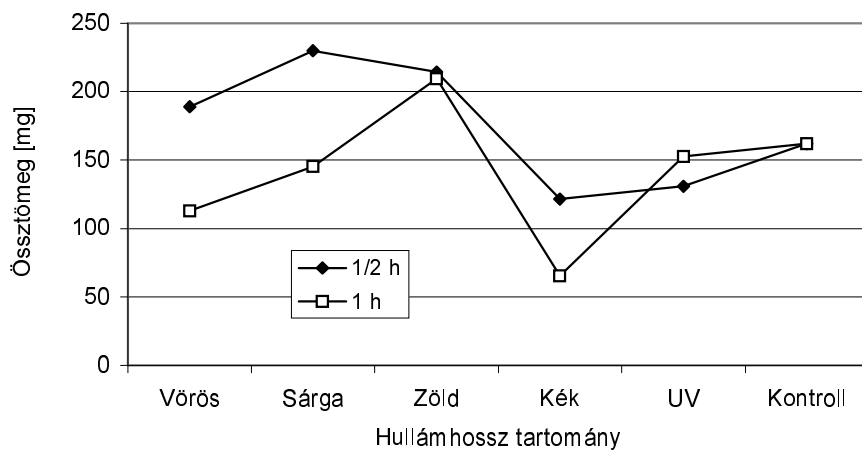
20. táblázat. Az átlagos szklerócium tömegek [mg] és a statisztikai próbák eredményei

	0,5 óra		1 óra	
	Átlag	t próba	Átlag	t próba
Kontroll	11,99		11,99	
Vörös	22,22	*	28,56	*
Sárga	18,02	NS	12,37	NS
Zöld	17,14	NS	16,44	NS
Kék	27,01	NS	16,37	NS
UV	23,79	NS	19,67	NS

Az átlagos szklerócium tömegeket az egyes hullámhossz tartományokra a 10. ábrán tüntettük fel. A szkleróciumok átlagos tömegében és számában ellentétes tendencia figyelhető meg. Ahol viszonylag nagyszámú szklerócium keletkezett, ott a tömegük kicsi, és fordítva. A szkleróciumszám és az átlag tömeg felhasználásával kiszámoltuk egy-egy tenyészet által termelt összes szklerócium tömeget. A különböző hullámhossz tartományra vonatkoztatva ezeket az értékeket adtuk meg a 11. ábrán.



10. ábra. Az átlagos szklerócium tömegnek a megvilágító fény hullámhosszától való függése



11. ábra. Az összes szklerócium tömegnek a hullámhosszától való függése

Megállapítható, hogy az összes termelt szklerócium tömeg kék fénnel történő megvilágításnál kevesebb, zöld fénnel történő megvilágításnál több, mint a kontrolltenyészet által termelt összes tömeg.

5.3.2. 24/0, 12/12 és 0/24 órás megvilágítás hatása a *Sclerotinia sclerotiorum* szklerócium képzésére

A különböző hullámhossz tartományok *Sclerotinia sclerotiorum* szklerócium képzésre kifejtett hatását tapasztalva megfigyelést végeztünk arra vonatkozóan, hogy mi történik akkor, ha a tenyészeteket a szklerócium képződésig teljes sötétben tartjuk (24/0 megvilágítás), nappal természetes megvilágításban és éjjel sötétben (12/12 megvilágítás), továbbá a nap 24 órájában kb. 1000 lux mesterséges megvilágításban tartjuk. Az egyes megvilágítások esetében képződött szkleróciumszámot és a szkleróciumok átlagos tömegét és a statisztikai próbák eredményét a 21. táblázat tartalmazza.

21. táblázat. 24/0, 12/12 és 0/24 órás fényben növesztett *Sclerotinia sclerotiorum* szkleróciumumainak átlagos száma (db.) és tömege [mg]

	0/24 h	12/12 h	24/0 h
Átlag (db)	10	16	28,3
W próba		*	*
Átlagtömeg [mg]	22,70	14,97	5,79
Szórás	17,70	12,59	4,81
t-próba		*	***
Összes tömeg	681,1	718,6	491,8

A szkleróciumszám adatokra a WILCOXON féle rangszám próbát alkalmazva egyértelműen megállapítható, hogy kontrollnak tekintve a folytonos sötétben tartott tenyészetet, szignifikáns különbségek figyelhetők meg a szkleróciók számában. Ez már az átlagértékek alapján is sejthető, oly módon, hogy a nagyobb megvilágítási dózisinál (24/0) nagyobb a keletkezett szkleróciók átlagos száma.

Megfigyelhető, hogy a megvilágítási dózis növekedésével a szkleróciók átlagos tömege szignifikánsan csökken, kontrollnak tekintve a folyamatosan sötétben tartott tenyészetet. A 12/12 jelű tenyészetnél a szignifikancia szintje 95%, a 24/0 jelű tenyészetnél pedig 99,9%. Érdekességképpen kiszámoltuk az összes termelt szklerócióméreteket, amelyeket a 21. táblázat utolsó sora tartalmaz. Látható, hogy a 24/0 fényrendszerben növesztett tenyészet által produkált összes szklerócióméret lényegesen kevesebb a 0/24 fényrendszerben növesztett tenyészet szklerócióméretjénél, annak ellenére, hogy ennél a tenyészetnél a szkleróciók száma lényegesen nagyobb volt.

A szkleróciók számára és átlagtömegére kapott eredményeket a különböző hullámhosszúságú fénnel besugárzott tenyészetekkel összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az eredmények hasonlóak a sárga és a zöld fénnel besugárzott tenyészetek adataihoz (a szkleróciók száma növekedik, átlagtömegük csökken (9. és 10. ábra) a vörös és kék fénnel besugárzott tenyészetekhez képest). Ezek alapján pedig azt mondhatjuk, hogy a kevert (fehér) fényben a sárga és a zöld összetevők hatása dominánsabb, mint a vörös vagy a kék összetevők hatása. A különböző színű fénynek szklerócióméretképzésre gyakorolt hatásairól nincs adatunk.

5.3.3. UV sugárzás és látható fény hatása a *Macrophomina phaseolina* mikroszkleróciumainak átmérőjére és eloszlására

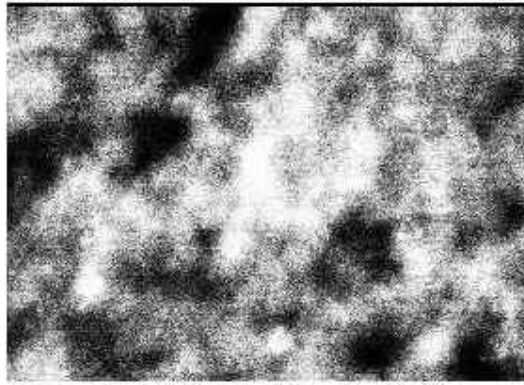
A 4.4.2. pontban adott leírás szerint készült felvételek alapján a 22. táblázatban az egyes kezelések során képződött mikroszkleróciumok átlagos átmérőit és az egy mm²-re jutó mikroszklerócium számot tüntettük fel. Az egy mm²-en található mikroszklerócium számot WILCOXON-féle rangszám próbával, az átlagos átmérőket pedig STUDENT-féle t-próbával hasonlítottuk össze.

22. táblázat. A képződött mikroszkleróciumok átlagos átmérője az egyes hullámhossz tartományokban

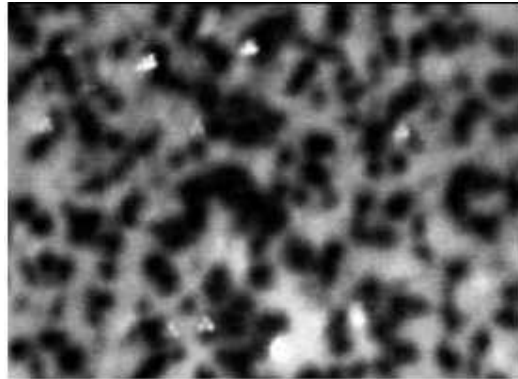
	Mikroszklerócium (db.)/mm ²	W próba	D _{átl} [μm]	t-próba
Kontroll	3,3		218	
Vörös	1,6	*	192	NS
Sárga	3,4	NS	226	NS
Zöld	7,2	*	203	NS
Kék	10,1	*	190	NS
NUV	2,6	NS	272	NS
UV	13,0	*	185	NS

A 12. a-c. ábrákon a kontroll, a kék, és UV sugárzással kezelt tenyészetekről készített egy-egy jellemző felvétel látható.

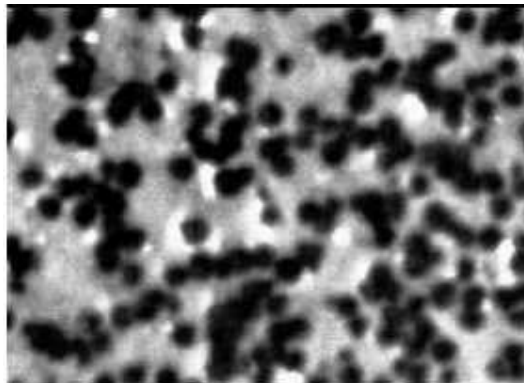
A WILCOXON-féle rangszám próba eredményeként a CCD kamera által érzékelt, egységnyi területre jutó szklerócium szám a vörös valamint kék fénnel és az UV-vel kezelt tenyészeteken 95%-os szinten különbözik a kontrolltól.



a



b



c

12. ábra. a: kontroll; b: kék; c: UV-vel megvilágított tenyészet

Az átlagos átmérőkre vonatkozóan F-próbát és STUDENT-féle t-próbát végeztünk a kontrollhoz képest. A nagy szkleróciumszám miatt meglehetősen nagy az adatok szórása, ezért szignifikáns eltérés még 95%-os szinten sem adódott. A 4.4.2. és a 4.5. pontban leírt módon megállapítottuk, hogy a mikroszkleróciók a WEIBULL eloszlást követik. Az összes kezelésre vonatkozóan meghatároztuk a paraméterek értékeit, amelyeket a 23. táblázatban foglaltunk össze.

23. táblázat. A WEIBULL eloszlás paraméterei és az illeszkedés szorossága

Hullámhossz tartomány	α	c	r^2
Kontroll	1,54	9,34	0,96
Vörös	1,01	6,22	0,85
Sárga	1,72	8,74	0,98
Zöld	2,35	15,99	0,96
Kék	1,70	12,27	0,98
NUV	1,48	7,65	0,99
UV	1,76	12,92	0,98

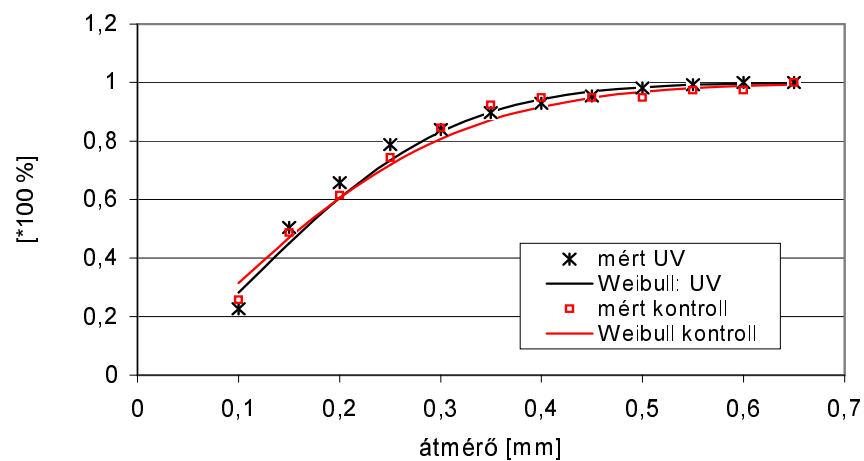
A közölt adatok szerint a c paraméter értékei, azaz a kitevőben lévő szorzófaktor lényegesen nagyobb kék fényre és UV- re, mint a többi esetben, kivéve a zöld fénnel való besugárzáshoz tartozó értéket. Ebben az esetben az α paraméter is lényegesen nagyobb a többi értéknél. A 13. és 14. ábrán a kontroll, valamint a kék fénnel és UV sugárzással kezelt tenyészetek mikroszkleróciukai átmérőinek kumulált gyakoriságai

(empírikus eloszlásai), valamint az illesztett függvény (folytonos görbék) látható. A grafikonok alapján megállapítható, hogy az összes mikroszklerócium kb. 75 %-a kisebb, mint 0,25 mm. A kezelt tenyészetekben a 0,25-0,45 mm átmérő tartományba eső mikroszkleróciumok aránya valamivel nagyobb, mint a kontroll tenyészetben.

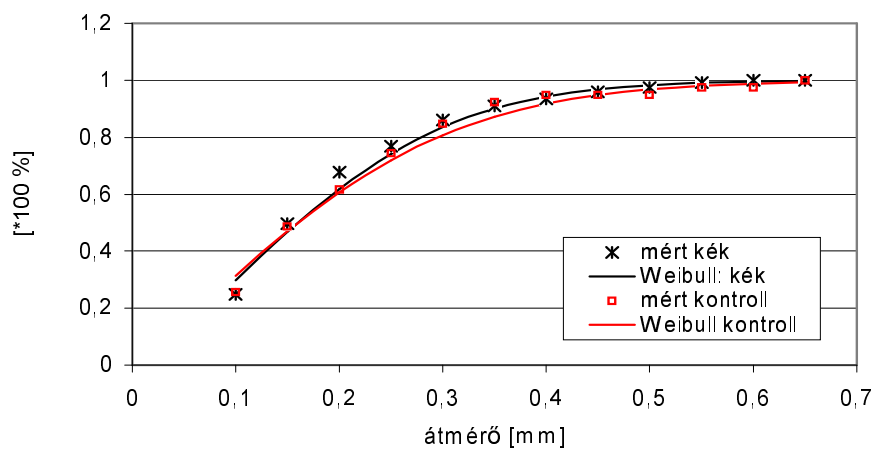
A felvételek alapján az alábbi kvalitatív megállapítások tehetők.

1. Vörös, sárga, zöld és közeli UV sugárzással történő megvilágítás hatására, valamint a kontroll tenyészetnél bőséges mikroszklerócium képződés figyelhető meg.

2. Kék fény és UV sugárzás hatására a telep habitusa lényegesen különbözik a többi kezeléssel összehasonlítva (12.b., 12.c. ábrák). Ezekben a kezelésekből a mikroszkleróciumok kontúrjai megfelelő élességűek, a többi esetben viszont a tenyészetek diffúzak, nem figyelhető meg éles kontúr. A mikroszkleróciumok érettek és barnás színűek, a micélium degradálódott. A micélium UV sugárzás hatására történő bizonyos mértékű degradációja összhangban van a *Sclerotinia sclerotiorum*-on elvégzett hasonló jellegű kísérletek eredményével



13. ábra. A mért átmérők és az illesztett WEIBULL eloszlás a kontroll és az UV-vel kezelt tenyészetekre vonatkozóan



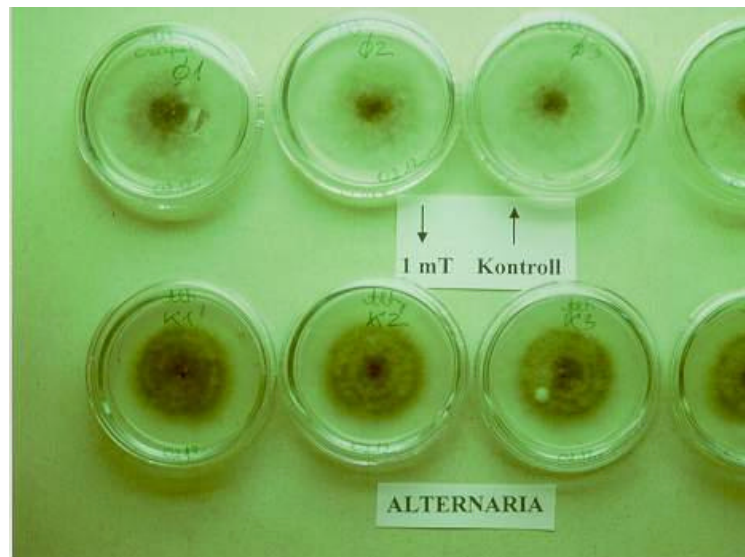
14. ábra. A mért átmérők és az illesztett WEIBULL eloszlás a kontroll és a kék fénnel kezelt tenyészetekre vonatkozóan

5.3.4. Statikus mágneses tér hatása a konídium képződésre

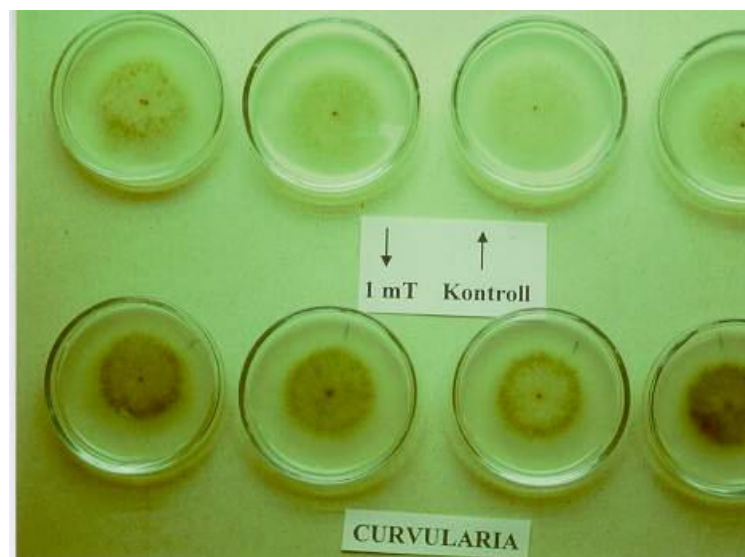
Alternaria alternata, *Curvularia inaequalis* és *Fusarium oxysporum* tenyészeteknél megvizsgáltuk a statikus mágneses tér hatását a konídiumképződésre 0,5 mT és 1 mT mágneses indukciónál. A BUERKER kamra egy cellájában található átlagos konídiumszámot, a szórását, a WILCOXON próba eredményét, valamint a konídium szuszpenzió 1 ml-ben található (átlagos) konídiumszámot a 24. táblázat tartalmazza.

A mágneses térnek a konídium termelésre gyakorolt hatásáról a 20. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy az *Alternaria alternata* esetében 1 mT-nál 200%-os növekedés figyelhető meg. 0,5 mT-nál a kontrollban nem fejlődtek konídiumok. A *Curvularia inaequalis* faj esetében 0,5 mT-nál 200, 1 mT térerősségnél 168%-ra növekedett a kifejlődött konídiumok száma. *Fusarium oxysporum* faj esetében a konídium termelése viszont lényegesen lecsökkent, 0,5 mT-nál a kontroll 21,7 %-ára, 1 mT-nál a kontroll 15,1 %-ra. Ezek az eredmények azt érzékeltetik, hogy a kis erősségű (az átlagos földi mágneses tér 2-20 szorosa) statikus mágneses terek lényegesen befolyásolják a vizsgált növénypatogén gombák konídium termelését.

A mágneses tér *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* sporulációjára gyakorolt erőteljes stimuláló hatását szemlélteti a 15. és 16. ábra



15. ábra. 1 mT indukciójú tér hatása *Alternaria alternata* sporulációjára



16. ábra. 1 mT indukciójú tér hatása *Curvularia inaequalis* sporulációjára

24. táblázat. A BUEKER kamra egy cellájában, valamint a konídium szuszpenzió 1 ml-ében található konídiumok átlagos száma [db.]

<i>Alternaria alternata</i>				
	0,5 mT		1 mT	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
Átlag	0	0,3	1,5	3
Szórás	0	0,67	0,97	1,05
Wilcoxon-próba		-		*
Konídium (db./ml)	0	$7,5 \cdot 10^4$	$3,75 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$
<i>Curvularia inaequalis</i>				
	0,5 mT		1 mT	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
Átlag	0,6	1,4	1,3	2,2
Szórás	0,69	0,69	0,82	1,23
Wilcoxon-próba		*		NS
Konídium (db./ml)	$1,5 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$3,25 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$
<i>Fusarium oxysporum</i>				
	0,5 mT		1 mT	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
Átlag	10,9	2,3	5,5	0,9
Szórás	2,13	1,16	5,12	1,10
Wilcoxon-próba		*		*
Konídium (db./ml)	$2,725 \cdot 10^6$	$5,75 \cdot 10^5$	$1,375 \cdot 10^6$	$2,25 \cdot 10^5$

5.4. UV sugárzás hatása *Sclerotinia sclerotiorum* három egymást követő generációjára

A UV sugárzás hatását a micélium növekedésre és a szklerócium képzésre három egymást követő generáción követtük nyomon. Az első generáció a leoltás utáni negyedik napon 16200, illetve 32400 J/m² UV sugárdózist kapott. Másodszor a kontrollból egy újabb, és az UV-vel besugárzott tenyészetek által termelt szkleróciumokból két – két tenyészetet oltottunk le. Ez utóbbiakból egy - egy tenyészetet újra 16200, illetve 32400 J/m² UV sugárdózisnak tettünk ki. Harmadszor a kontrollból egy újabb, és a már kétszer kezelt tenyészetből újabb két – két tenyészetet oltottunk le. Ez utóbbiakból egy – egy tenyészetet újra 16200, illetve 32400 J/m² UV sugárdózisnak tettünk ki. A keletkezett szkleróciumok összeszámlálása a besugárzástól számított egy hét múlva történt. Mivel az UV-vel kezelt tenyészetekben ekkor még sok esetben csak kezdemények voltak, három nap múlva ismét összeszámláltuk a szkleróciumokat. A keletkezett szkleróciumok átlagos számára WILCOXON féle rangszám próbát végeztem. A keletkezett szkleróciumok átlagos számát a 25. táblázatban foglaltuk össze.

A 25. táblázatban közölt eredmények alapján megállapítható, hogy az első generációban mindkét kezelés szignifikáns eltérést eredményezett. A második generációban érdekes módon csak az első generációban besugárzott mintából növesztett kontroll tenyészet mutat szignifikáns eltérést. A harmadik generációban pedig mind a második generációs besugárzott mintákból növesztett kontroll tenyészetek, mind pedig a háromszor besugárzott tenyészetek szignifikáns eltérést mutatnak az abszolút kontrollhoz képest.

25. táblázat. *Sclerotinia sclerotiorum* három egymást követő, UV-vel besugárzott generációjának szklerócium termelése [db.]

A generáció					
	Kontroll	UV1/2	UV1		
Átlag	13,5	5,5,	7,75		
W próba		*	*		
B generáció					
	Kontroll	UV1/2 K	UV1 K	UV1/2	UV1
Átlag	10,75	16,75	4,5	9,75	9,25
W próba		*	*	NS	NS
C generáció					
	Kontroll	UV1/2 K	UV1 K	UV1/2	UV1
Átlag	23,5	14	9,5	14,25	9,5
W próba		*	*	*	*

A szkleróciumok tömegeit a leoltástól számított 23. napon 24 órás szobahőmérsékleten történő szárítás után lemértük, az eredményeket átlagoltuk, és t-próbát végeztünk a kontrollhoz képest. A számítások eredményeit a 26. táblázatban foglaltuk össze.

A 26. táblázatban feltüntetett eredmények alapján megállapítható, hogy az első, második és harmadik generációban a szkleróciumok átlagos tömegei közt nincs szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva. Kivétel az első két generációban 1 órás besugárzást kapott tenyészet, amely a harmadik generációban már nem kapott besugárzást. Ez az egy szignifikáns eltérés azonban semmiképpen nem tekinthető jellegzetesnek.

26. táblázat. *Slerotinia sclerotiorum* három egymást követő, UV-vel besugárzott generációjának szklerócium tömege [mg]

A generáció					
	Kontroll	UV1/2	UV1		
Átlag	11,99	23,79	19,67		
Szórás	5,97	17,93	10,35		
t-próba		NS	NS		
B generáció					
	Kontroll	UV1/2 0	UV1 0	UV1/2	UV1
Átlag	17,46	14,33	12,74	12,97	16,85
Szórás	9,11	7,63	9,96	12,08	10,95
t-próba		NS	NS	NS	NS
C generáció					
	Kontroll	UV1/2 0	UV1 0	UV1/2	UV1
Átlag	17,46	15,79	13,05	17,20	17,59
Szórás	9,11	9,89	8,73	8,85	12,73
t-próba		NS	*	NS	NS

Röviden összefoglalva megállapítható, hogy a szkleróciumok UV-C sugárzásnak igen ellenálló képződmények, a három egymást követő generációban sem a tenyészet habitusát, sem a képződött szkleróciumok átlagos tömegét illetően nem figyelhető meg lényeges eltérés a kontrollhoz képest. Megemlítjük még, hogy a szakirodalomban ilyen jellegű adatokat nem találtunk.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az UV-C sugárzás, valamint statikus és 50 Hz frekvenciájú mágneses terek *Alternaria alternata*, *Curvularia inaequalis* és *Fusarium oxysporum* konídium csírázására, továbbá a látható fény, UV-C sugárzás, valamint statikus mágneses tér *Alternaria alternata*, *Curvularia inaequalis*, *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, *Trichoderma* sp. és *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetek in vitro növekedésére, konídium illetve szklerócium képződésére gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kísérletek eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le, illetve az eredmények esetleges gyakorlati alkalmazásával kapcsolatos javaslatok tehetők.

1. A *Curvularia inaequalis* konídium csírázási százalékát a 254 nm hullámhosszúságú UV-C sugárzás erőteljesen csökkenti. $0,0432 \text{ J/cm}^2$ dózis alkalmazásakor a kicsírázó konídiumok aránya már csak 1 %-a az összes konídiumnak. Az *Alternaria alternata* konídiumai UV-C sugárzásnak sokkal ellenállóbbak. Az alkalmazott legnagyobb dózis 16-szor nagyobb volt, mint a *Curvularia inaequalis* esetében, és a csírázási arány ennél a dózisonál még mintegy 30 %. Az in vitro eredmények alapján további szisztematikus vizsgálatok során kidolgozott technológiák alapján javasolható az UV-C sugárzás felhasználása vetőmagvak csíráatlanítására az elterjedt vegyszeres csávázás helyett. Ugyancsak javasolható az UV-C sugárzás használata konídiumokkal (pl. *Monilia*) fertőzött gyümölcsök tárolás előtti csíráatlanítására, s ezzel a tárolási veszteségek csökkentésére.

2. A *Curvularia inaequalis* konídium csírázását a statikus és az 50 Hz frekvenciájú mágneses terek is jelentősen befolyásolják, olyan formán, hogy a 0,1-1,5 mT tartományban mindkét mágneses tér alkalmazása esetén növekszik a csírázási százalék a kontrollhoz képest. A 2-3,5 mT tartományban azonban 50 Hz-es mágneses térben továbbra is nagyobb, statikus mágneses térben pedig lényegesen kisebb a csírázási százalék a kontrollhoz képest. Az *Alternaria alternata* konídiumok csírázását a mágneses tér szintén befolyásolja, és a megfigyelhető változások most is mintegy ellentétes tendenciát mutatnak, hasonlóan az UV-C-vel történő besugárzáshoz. A *Curvularia inaequalis*-al ellentétben ennél a gombafajnál a konídium csírázást a statikus mágneses tér a 0,1-3,5 mT intervallumban inkább stimulálja, a kicsírázott konídiumok aránya mintegy 120 %-a a kontrollban kicsírázottak arányának. Az 50 Hz frekvenciájú szinuszosan változó mágneses tér pedig kismértékű gátlást gyakorol a csírázásra, a csírázási arány csak mintegy 80 %-a a kontroll csírázási arányának.

3. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az UV-C sugárzás mind a hat, kísérletbe bevont gombafajnál átlagosan 48 óra időtartamra gátolja a micélium növekedését $1,62 \text{ J/cm}^2$ kezdeti dózis alkalmazása során. Ennek a kezdeti dózisnak az egyes gombafajokra vonatkozó pontos értékét eddigi munkánk során még nem határoztuk meg. A gátló hatás további 48 órás időtartamokra fenntartható lényegesen kisebb dózisokkal is. *Sclerotinia sclerotiorum*-nál ez a dózis $0,216 \text{ J/cm}^2$, *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* fajoknál $0,432 \text{ J/cm}^2$, míg *Fusarium oxysporum* és *Macrophomina phaseolina* fajoknál $0,81 \text{ J/cm}^2$.

A micélium növekedés gátlásával kapcsolatban megjegyzendő, hogy a gátló hatás azzal hozható összefüggésbe, hogy a gomba hifa csúcsi sejtje még nem rendelkezik kettős sejtfallal (VETTER 1992; JAKUCS 1999). A hifa többi részén a külső sejtfal réteg, amely glukánokat, mannánt és más polimereket tartalmaz (VETTER 1992), valószínűleg abszorbeálja az UV-C sugárzást, s így megvédi a már kifejlődött micéliumot a károsodástól. COCKELL és KNOWLAND (1999) szerint az élő szervezetekben további UV árnyékoló komponensek lehetnek, pl. karotinoidok. A tényleges (valószínűleg több) UV abszorbens megállapítása szisztematikus vizsgálatokat igényel. Az a tapasztalat, hogy a micélium növekedés gátlása az először alkalmazottnál lényegesen kisebb, úgymond „emlékeztető” dózisokkal is fenntartható, további beható vizsgálatokat igényel.

Az inaktivációt előidéző fénynél hosszabb hullámhosszúságú (jelen kísérletsorozatban sárga) fénnel történő megvilágítás reaktivációs hatásának vizsgálata a következőkben összegezhető. Az UV sugárzást 24 órával követő sárga fényű megvilágítás hatására az *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* tenyészetek növekedése gyorsabb, azaz a reaktiváció hatékonyabb, mint az egyidejű megvilágítás alkalmazásakor. A *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, valamint a *Trichoderma* sp. fajoknál ez a reaktiváló hatás, legalábbis az alkalmazott hullámhossznál és dózisinál nem figyelhető meg.

Végül megemlítjük, hogy ezek az elméleti in vitro eredmények ugyancsak azt mutatják, hogy megfelelő technológiák kidolgozása után az UV-C sugárzás felhasználható a különböző terményeken megtelepedett gombatenyészetek növekedésének gátlására, s ezzel a

tárolási veszteségek csökkentésére.

4. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a statikus mágneses tér a vizsgálatba vont gombafajok micélium növekedési sebességét átlagosan mintegy 10-15 %-al csökkenti, bár vannak olyan esetek, amikor a csökkenés csak 2-3 %, de olyanok is, amikor a csökkenés 30 % körüli. Ez az eredmény gombákra vonatkozó adatok hiányában nehezen hasonlítható össze más kutatások eredményeivel, és némiképpen meglepő, mert a mágneses terek általában stimuláló hatást fejtenek ki különböző élő szervezetek (pl. növények) növekedésével kapcsolatban. Egyetlen támpont ez ideig RUZIC et al. (1997) vizsgálatainak eredménye, mely szerint a *Pisolithus tinctorius* mikorriza képző gomba micéliumának száraz és nedves tömege 50 Hz frekvenciájú, 0,1 mT indukciójú mágneses térben való növekedéskor kezdetben nagyobb, később kisebb, mint a kontroll tömege. A micélium növekedési sebességének gátlása azzal hozható összefüggésbe, hogy a hifacsúcs az abszorpciós zónában H^+ ionokat bocsát ki, amelyek az apikális zónában visszajutnak a hifába, ugyanakkor az apikális zónában K^+ ionok kibocsátására kerül sor, így a hifa csúcs körül lényegében elektromos áram folyik, amelyet a mágneses tér befolyásol. HORWITZ et al. (1984a; 1984b) *Trichoderma harzianum* esetében megmérték ezt a hifacsúcs körül keringő áramsűrűséget, amely nA/mm² nagyságrendű. Vizsgálataik során azt is megállapították, hogy az áramsűrűség nagyságát és irányát érzékenyen befolyásolja a megvilágítás erőssége.

5. *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetén végzett gondos mérések alapján megállapítható, hogy a tenyészet növekedése az (5.2) képlettel adott logisztikus függvényt követi. Javasolható ennek a függvénynek a

használata a növekedés leírására az eddig használt lineáris függvényt helyett.

6. A *Sclerotinia sclerotiorum* gombafaj szkleróciumainak morfológiájával kapcsolatosan megemlíthető, hogy a kifejlődött szkleróciumok száma és átlagos tömege éppen ellentétes tendenciát mutat a megvilágító fény hullámhosszának függvényében. Azokon a hullámhosszakon, ahol kevés szklerócium képződött, viszonylag nagy az átlagtömegük, azokon a hullámhosszakon pedig, amelyeken sok szklerócium képződött, kicsi az átlagtömeg. Ezen túl az összes szklerócium tömeg állandónak tűnik, kivéve a kék fénnel megvilágított tenyészeteket, ahol az összes szklerócium tömeg kisebb, mint a kontrollnál, illetve bármely más hullámhossznál.

7. A látható fény és az UV sugárzás *Macrophomina phaseolina* mikroszkleróciumainak képződésére gyakorolt hatásával kapcsolatban megállapítható, hogy UV sugárzás és kék fény hatására lényegesen több mikroszklerócium képződött, mint egyéb esetekben. UV sugárzás és kék fény hatására a mikroszkleróciumok méret szerinti eloszlása – amely az (5.3) egyenlettel adott WEIBULL eloszlással írható le - is megváltozott, a 250-450 μm átmérő tartományba eső mikroszkleróciumok aránya nagyobb, mint a kontroll tenyészetben. A szakirodalomban viszonylag régóta ismert az UV sugárzás és a kék fény konídiumos gombák sporulációjára gyakorolt hatása. Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy az UV sugárzásnak és a kék fénynek lényeges hatása van a *Macrophomina phaseolina* mikroszklerócium képződésére is.

8. Az UV sugárzásnak a konídiumos gombák sporulációra gyakorolt hatását ismerve figyelembe kell vennünk, hogy az ózonpajzs

helyenkénti elvékonyodásával megnő az UV sugárzás intenzitása. Ennek következményei szerteágazóak, pl. a rovarok szeme közvetlenül látja a közeli UV tartományba eső fényt. Ezt felhasználják a táplálék keresésben és a párkeresésben is. Néhány rovarfajnál a szórt UV fény polarizációs viszonyai is a tájékozódás eszközei. A növényekkel kapcsolatos felfogás ma az, hogy a sugárzás spektrális összetételének változásával megváltozik az UV sugárzásra érzékenyebb és kevésbé érzékeny fajok aránya (SZALAY és RINGLER 1986). Sajnos e téren hosszabb távú megfigyelések nem állnak rendelkezésre. A sugárzás spektrális eloszlása változásának az élő szervezetre gyakorolt hatását figyelembe kell vennünk a növénypatogén mikroszkópikus gombák tekintetében is. Különösen a konídiumos gombáknak azt, a szakirodalomban viszonylag széles körben tárgyalt tulajdonságát, hogy sporulációjukat a közeli UV sugárzás hatékonyan befolyásolja. Az UV sugárzás intenzitásának a megváltozása maga után vonhatja más hullámhossz tartományok - pl. az ugyancsak szokatlan hatásokat kiváltó kék fény - hatásának relatív megváltozását is. A Föld felszínén mérhető és a légkör felső határán a napsugárzás elméletileg ismert spektrális eloszlásából számítva a légkör egyes hullámhossz tartományaira vonatkozó abszorpciós tényezőt, megbecsültük az egyes hullámhossz tartományban egy derült nap alatt érkező átlagos energiamennyiséget (dózist). Ezeknek az összege a teljes hullámhossz tartományra elég jól egyezik a GYURCSOVICS (1993) által közölt tapasztalati értékekkel. Becsléseink alapján az április – augusztus hónapokban a közeli UV tartományban érkező dózis naponta átlagosan 353 és 412 J/cm² közti érték. Ez a teljes spektrumban érkező energiának átlagosan 20,9 %-a. A kék hullámhossz tartományban naponta átlagosan

érkező energiamennyiség ugyancsak az április – augusztus hónapokban 298 és 350 J/cm² közt változik, ami a teljes spektrumban érkező energiamennyiség 17,6 %-a. Ebben a két tartományban együttesen érkező energiamennyiség tehát majdnem 40 %-a a teljes spektrumban érkező energia mennyiségnek. Ezeket a derült napokra vonatkozó átlagos értékeket elsősorban az égbolt felhővel való borítottsága, kisebb mértékben pedig helyi viszonyok, pl. a levegő párassága, porossága stb. befolyásolják. Ezen ismeretek alapján (1) célszerű lenne szisztematikus megfigyeléseket végezni az UV sugárzás és a kék fény intenzitása, valamint az egyes gombakórokozók időszakos elszaporodása közti összefüggés felállítására. (2) Az eredmények alapján szükség lehet az UV sugárzás és a kék fény intenzitásának, mint újabb abiotikus tényezőnek az előrejelzések kialakításába való bevonására.

9. A kísérletek eredményei szerint a statikus mágneses tér *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* gombafajok konídiumtermelésére mérhető stimuláló hatást fejt ki. Ennél a két gomba fajnál 0,5 és 1 mT mágneses indukciónál a kifejlődött konídiumok száma mintegy 1,7-2-szerese a kontroll tenyészetben kifejlődött konídiumok számának. A *Fusarium oxysporum* faj konídium képződését viszont a statikus mágneses tér erősen gátolja. Az említett két mágneses indukció értéknél a kifejlődött konídiumok száma csak mintegy 15-20 %-a a kontroll tenyészetben kifejlődött konídiumok számának. Összességében megállapítható, hogy a statikus mágneses tér talán nem is a várt módon, igen hatékonyan befolyásolja a fenti három gombafaj konídium képződését, és joggal feltételezhető, hogy más fajoknál is megfigyelhető jelentős hatás. Tekintettel arra, hogy a földi mágneses tér erőssége a

naptevékenységgel kapcsolatos ciklikusságot mutat, továbbá a geomágneses tér időnként teljesen szabálytalanul változik (geomágneses tevékenység, vagy geomágneses vihar), elképzelhető, hogy az előrejelzések kialakításánál figyelembe kell venni a geomágneses tér erősségét is.

10. Az optikai sugárzásoknak és a mágneses tereknek a növénypatogén gombákra kifejtett hatását figyelembe vehetjük egy viszonylag újabb keletű tudományágban, a aeromikológiában, amely a légkörben terjedő gombaelemek vizsgálatával foglalkozik. MAGYAR és SZÉCSI (2002) szerint a gombaelemek levegőbe jutását több tényező segíti, többek közt a napfény. Az eredmények alapján feltételezhető, hogy a sugárzások nemcsak a levegőbe jutást segítik, hanem a gombaelemek levegőbeni viselkedését is. Hasonló feltételezéssel élhetünk a mágneses teret illetően is. Az eddigieken túl a növénykórokozó gombák jelentős része embereken asztmás tüneteket és mikotoxikózist is okozhat, vagyis a kérdésnek humán gyógyászati vonatkozásai is lehetnek.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejezem ki köszönetemet Dr. Sáringer Gyula akadémikus úrnak, hogy doktori programja keretében lehetővé tette doktori disszertációm elkészítését.

Köszönetet mondok témavezetőmnek, Dr. Fischl Gézának a kísérletek elvégzése és kiértékelése, valamint az értekezés elkészítése során nyújtott nélkülözhetetlen segítségéért.

Megköszönöm tanszékvezetőmnek, Dr. László Alfrédnek, hogy disszertációm elkészítését támogatta, s az Agrárműszaki Tanszék által nyújtható segítséget biztosította.

Megköszönöm Czimondor Imréné laboránsnak a kísérletek végrehajtásában nyújtott segítségét, továbbá a Növénykórtani és Növényvirológiai Tanszék minden dolgozójának a munkavégzéshez szükséges nyugodt munkahelyi légkör biztosítását.

Végül köszönetet mondok feleségemnek, aki a munkavégzéshez szükséges családi háttérrel biztosította.

8. IRODALOM JEGYZÉK

- Aragaki, M., Nishimoto, K. M., Hylin, J. W. (1973): Vegetative reversion of conidiophores in *Alternaria tomato*. *Mycologia*, 65: 1205–1210.
- Bashi, E., Rotem, J. (1976): Induction of sporulation of *Alternaria porri* f. *sp. solani* in vivo. *Physiological Plant Pathology*, 8: 83–90.
- Berrocal-Tito, G. M., Roseles-Saavedra, T., Herrera-Estrella, A., Horwitz, B. A. (2000): Characterization of blue-light and developmental regulation of the photolyase gene *phr1* in *Trichoderma harzianum*. *Photochemistry and Photobiology*, 71: 662–668.
- Braga, G. U. L., Flint, S. D., Messias, C. L., Andersom, A. J., Roberts, D.W. (2001a): Effects of UVB irradiance on conidia and germinants of the entomopathogenic Hypomycete *Metarhizium anisopliae*: A study of reciprocity and recovery. *Photochemistry and Photobiology*, 73: 140–146.
- Braga, G. U. L., Flint, S. D., Miller, C. D., Andersom, A. J., Roberts, D.W. (2001b): Both solar UVA and UVB radiation impair conidial culturability and delay germination in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Photochemistry and Photobiology*, 74: 734–739.
- Broers, D., Kraeplin, G., Lamprecht, I. Schultz, O. (1992): *Mycotypha africana* in low-level athermic ELF magnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 16: 281–291.

- Brook, P. J. (1969): Stimulation of ascospore release in *Venturia inaequalis* by far red light. *Nature*, 222: 390-392.
- Calpouzos, L., Chang, H-S. (1971): Fungus spore germination inhibited by blue and far red radiation. *Plant Physiology*, 47: 729-730.
- Carlile, M. J. (1965): The photobiology of fungi. *Annual Review of Plant Physiology*, 16: 175-202.
- Carlile, M. J., Friend, F. (1956): Carotenoids and reproduction in *Pyronema confluens*. *Nature*, 178: 369-370.
- Chignell, C. F., Sik, R. H. (1995): Magnetic field effects on the photohemolysis of human erythrocytes by ketoprofen and protoporphyrin IX. *Photochemistry and Photobiology*, 62: 205-207.
- Chignell, C. F., Sik, R. H. (1998a): The effect of static magnetic fields on the photohemolysis of human erythrocytes by ketoprofen. *Photochemistry and Photobiology*, 67: 591-595.
- Chignell, C. F., Sik, R. H. (1998b): Effect of magnetite particles on photoinduced and nonphotoinduced free radical processes in human erythrocytes. *Photochemistry and Photobiology*, 68: 598-601.
- Cockell, C. S. (2000): The ultraviolet history of the terrestrial planets – implications for biological evolution. *Planetary and Space Science*, 48: 203-214.
- Cockell, C. S., Horneck, G. (2001): The history of UV radiation climate of the Earth – theoretical and space-based observations. *Photochemistry and Photobiology*, 73: 447-451.
- Cockell, C. S., Knowland, J. (1999): Ultraviolet radiation screening compounds. *Biological Reviews*, 74: 311-345.

- Curtis, C., R. (1964): Physiology of sexual reproduction in *Hypomyces solani* f. *cucurbitae*. II. Effects of radiant energy on sexual reproduction. *Phytopatology*, 54: 1141-1145.
- Duguay, K. J., Klironomos, J. N (2000): Direct and indirect effects of enhanced UV-B radiation on the decomposing and competitive abilities of saprobic fungi. *Applied Soil Ecology*, 14: 157-164.
- Érsek, T., Gáborjányi, R. (1998): Növénykórokozó mikroorganizmusok. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Givan, C., V. Bromfield, K. R. (1964a): Light inhibition of uredospore germination in *Puccinia recondita*. *Phytopathology*, 54: 116-117.
- Givan, C., V. Bromfield, K. R. (1964b): Light inhibition of uredospore germination in *Puccinia graminis* var. *tritici*. *Phytopathology*, 54: 382-384.
- Glaser, R. (1992): Current concepts of the interaction of weak electromagnetic fields with cells. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 27: 255-268.
- Gressel, J., Galun, E. (1967): Morphogenesis in *Trichoderma*: photoinduction and RNA. *Developmental Biology*, 15: 575-598.
- Gressel, J. B., Hartmann, K. M. (1968): Morphogenesis in *Trichoderma*: action spectrum of photoinduced sporulation. *Planta*, 79: 271-274.
- Gyurcsovics, L. (1993): A napenergia hasznosítása. In Barótfi, I. (szerk.) *Energiafelhasználói kézikönyv. Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest*, 629-639.
- Harris, A. W., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., Bath, M. L., Bangay, M. J. Repacholi, M.H. (1998): A test of lymphoma

- induction by long-term exposure of E μ -Pim1 transgenic mice to 50 Hy magnetic fields. *Radiation Research*, 149: 300-307.
- Harm, W. (1980): *Biological Effects of Ultraviolet Radiation*. Cambridge University Press, London, New York.
- Horiuchi, S., Ishizaki, Y., Okuno, K., Ano, T., Shoda, M. (2002): Change in broth culture is associated with significant suppression of *Escherichia coli* death under high magnetic field. *Bioelectrochemistry*, 57: 139-144.
- Horwitz, B. A., Gressel, J., Malkin, S. (1984a): The quest for *Trichoderma* cryptochrome. (In Senger, H. (Ed.): *Blue Light Effects in Biological Systems*. Springer Verlag, Berlin, 237-249.)
- Horwitz, B. A., Weisenseel, M. H., Dorn, A., Gressel, J. (1984b): Electric currents around growing *Trichoderma* hyphae, before and after photoinduction of conidia. *Plant Physiology*, 74: 912-916.
- Jajte, J., Grzegorzczak, J., Zmyslony, M., Rajkowska, E. (2002): Effect of 7 mT static magnetic field and iron ions on rat lymphocytes: apoptosis, necrosis and free radical processes. *Bioelectrochemistry*, 57: 107-111.
- Jakucs, E. (1999): *A mikológia alapjai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Kleinman, M. H., Shevchenko, T., Bohne, C. (1998a): Magnetic field effects on the dynamics of radical pairs in micelles: a new approach to understanding the "cage effect". *Photochemistry and Photobiology*, 67: 198-205.
- Kleinman, M. H., Shevchenko, T., Bohne, C. (1998b). Magnetic field effects on the dynamics of radical pairs: the partition effect in vesicle. *Photochemistry and Photobiology*, 68: 710-718.

- Korpinen, L., Partanen, J. (1996): Influence of 50 Hz magnetic fields on human blood pressure. *Radiation and Environmental Biophysics*, 35: 199-204.
- Kumagai, T. (1978): Mycochrom system and conidial development in certain fungi imperfecti. *Photochemistry and Photobiology*, 27: 371-379.
- Kumagai, T. (1982): Blue and near ultraviolet reversible photoreaction in the induction of fungal conidiation. *Photochemistry and Photobiology*, 35: 123-125.
- Kumagai, T., Oda, Y. (1969): Blue and near ultraviolet reversible photoreaction in conidial development of the fungus *Alternaria tomato*. *Development, Growth and Differentiation*, 11: 130-142.
- Kumagai, T., Yoshioka, N., Oda, Y. (1976): Further studies on the blue and near ultraviolet reversible photoreaction with an intracellular particulate fraction of the fungus, *Alternaria tomato*. *Biochimica et Biophysica Acta*, 421: 133-140.
- Leach, C. M. (1962): Sporulation of diverse species of fungi under near-ultraviolet radiation. *Canadian Journal of Botany*, 40: 151-161.
- Leach, C. M. (1967): Interaction of near-ultraviolet light and temperature on sporulation of the fungi *Alternaria*, *Cercospora*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, and *Stemphylium*. *Canadian Journal of Botany*, 45: 1999-2015.
- Leach, C. M. (1971): A Practical Guide to the Effects of Visible and Ultraviolet Light on Fungi. In Booth, C. (ed) *Methods in Microbiology*. Vol IV. Academic Press, London & New York, 609-664.

- Leach, C. M. (1972): An action spectrum for light-induced sexual reproduction in the ascomycete fungus *Leptosphaerulina trifolii*. *Mycologia*, 64: 475-490.
- Leach, C. M., Trione, E. J. (1965): An action spectrum for light induced sporulation in the fungus *Asochyta pisi*. *Plant Physiology*, 40: 808-812.
- Leach, C. M., Trione, E. J. (1966): Action spectra for light-induced sporulation of the fungi *Pleospora herbarum* and *Alternaria dauci*. *Photochemistry and Photobiology*, 5: 621-630.
- Lucas, J. A., Kendrick, R. E., Givan, C. V. (1975): Photocontrol of fungal spore germination. *Plant Physiology*, 56: 847-849.
- Lukens, R. J. (1963): Photo-inhibition of sporulation in *Alternaria solani*. *American Journal of Botany*, 50: 720-424.
- Lukens, R. J. (1965): Reversal by red light of blue light inhibition of sporulation in *Alternaria solani*. *Phytopathology*, 55: 1032.
- Magyar, D., Szécsi, Á. (2002): A levegőmikológia növénykórtani alkalmazása. *Növényvédelem*, 38: 397-407.
- Marino, C., Cristalli, G., Galloni, P., Pasqualetti, P., Pisciletti, M., Lovisolo, G. A. (2000): Effects of microwaves (900 MHz) on the cochlear receptor: exposure systems and preliminary results. *Radiation and Environmental Biophysics*, 39: 131-136.
- Marquenie, D., Lammertyn, A. H., Geeraerd, A.H., Soontjens, C., Van Impe, J. F., Nicolai, B. M., Michelis, C. W. (2002): Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 74: 27-35.

- Mohtat, N., Cozens, F. L., Hancock-Chen, T., Scanio, J. C., McLean, J., Kim, J. (1998): Magnetic field effects on the behavior of radicals in protein and DNA environments. *Photochemistry and Photobiology*, 67: 111-118.
- Nigro, F., Ippolito, A., Lima, G. (1998): Use UV-C light to reduce *Botrytis* storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13: 171-181.
- Nowinszky, L. (1994): A fénycsapdás rovargyűjtést módosító abiotikus tényezők. Oskar Kiadó, Budapest.
- Owen, R. D. (1998): MYC mRNA abundance is unchanged in subcultures of HL60 cells exposed to power-line frequency magnetic fields. *Radiation Research*, 150: 23-31.
- Preszman, A. Sz. (1977): Elektromágneses jelzésátvitel az élővilágban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Rakoczy, L. (1980): Effect of blue light on metabolic processes, development and movement in true slime molds. In Senger, H. (ed) *The Blue Light Syndrome*. Springer Verlag, Berlin, 570-583.
- Rozema, J., van de Staalj, J., Björn, L. O., Caldwell, M. (1997): UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Trends in Ecology and Evolution*, 12: 22-28.
- Ruzic, R., Jerman, I., Jeglic, A., Fefer, D. (1993): Various effects of pulsed and static magnetic fields on the development of *Castanea sativa* mill. in tissue culture. *Electro- and Magnetobiology*, 12: 165-177.

- Ruzic, R., Gogala, N., Jerman, I. (1997): Sinusoidal magnetic fields: Effects on growth and ergosterol content in mycorrhizal fungi. *Electro- and Magnetobiology*, 16: 129-142.
- Ruzic, R., Jerman, I., Gogala, N. (1998a): Water stress reveals effects of ELF magnetic fields on the growth of seedlings. *Electro- and Magnetobiology*, 17: 17-30.
- Ruzic, R., Jerman, I., Gogala, N. (1998b): Effects of weak low-frequency magnetic fields on spruce seed germination under acid conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 609-616.
- Sadauskas, K. K., Lugauskas, A. Y., Mikulskene, A. I. (1987): Vlijanie postojannogo impulsnogo nizkochastotnogo magnitnogo polja na mikroskopicheskie gribi. *Mikologija i Fitopatologija*, 21 160-163.
- Sametz-Baron, L., Berrocal, G. M., Amit, R., Herrera-Estrella, A. (1997): Photoreactivation of UV-inactivated spores of *Trichoderma harzianum*. *Photochemistry and Photobiology*, 65: 849-854.
- Smith, R. D., Mays, R. (1984): Effect of pulsed magnetic fields on root development in plant cuttings. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 12: 567-573.
- Stagg, R. B., Hawel, L. H., Pastorian, K., Cain, C., Adey, W. R., Buys, C. V. (2001): Effect of immobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field on core body temperature, Plasma ACTH and corticosteroid, and brain ornithine decarboxylase, Fos and Jun mRNA. *Radiation Research*, 155: 584-592.
- Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pussey, P. L., Kabwe, M. K., Igwegba, E. C. K., Chalutz, E. Droby, S. (1998): The

- germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Protection*, 17: 75-84.
- Szalay, L., Ringler, A. (1986): *Biofizika*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Tan, K. K. (1974a): Complete reversibility of sporulation by near ultraviolet and blue light in *Botrytis cinerea*. *Transactions of the British Mycological Society*, 63: 203-205.
- Tan, K. K. (1974b): Red-far-red reversible photoreaction in the recovery from blue-light inhibition of sporulation in *Botrytis cinerea*. *Journal of General Microbiology*, 82: 201-202.
- Tan, K. K. (1975): Interaction of near-ultraviolet, blue, red and far-red light in sporulation of *Botrytis cinerea*. *Transactions of the British Mycological Society*, 64: 215-222.
- Tan, K. K. (1978): *The Filamentous Fungi* Vol. 3. Chapter 17. 334–357. Edward Arnold, London.
- Tan, K. K., Epton, H. A. S. (1974a): Further studies on light and sporulation in *Botrytis cinerea*. *Transactions of the British Mycological Society*, 62: 105-112.
- Tan, K. K., Epton, H. A. S. (1974b): Ultraviolet-absorbing compound associated with sporulation in *Botrytis cinerea*. *Transactions of the British Mycological Society*, 63: 157-167.
- Thomas, C. E., Halpin, J. E. (1964): Effect of predisposition temperature and subsequent exposure to various light qualities on the growth and sporulation of *Leptosphaerulina briosiana*. *Phytopathology (Abstr.)*, 54: 910.

- Vakalounakis, D. (1986): Action spectrum of photoinduced conidiation in *Alternaria cichorii*. Journal of General Microbiology, 132: 3485–3489.
- Vakalounakis, D., Christias, C. (1981): Sporulation in *Alternaria cichorii* is controlled by blue and near ultraviolet reversible photoreaction. Canadian Journal of Botany, 59: 626–628.
- Vakalounakis, D., Christias, C. (1985): Light intensity, temperature and conidial morphology in *Alternaria cichorii*. Transactions of the British Mycological Society, 85: 425–430.
- Vakalounakis, D., Christias, C. (1986): Light quality, temperature and sporogenesis in *Alternaria cichorii*. Transactions of the British Mycological Society, 86: 247–254.
- Vakalounakis, D., Christias, C., Malthrakakis, N. E. (1983): Interaction of light quality and temperature on the vegetative reversion of conidiophores in *Alternaria cichorii*. Canadian Journal of Botany, 61: 626–630.
- Velizarov, S. (1999): Electric and magnetic fields in microbial biotechnology: Possibilities, limitations, and perspectives. Electro- and Magnetobiology, 18: 185–212.
- Vetter, J. (1992): Az általános mikológia alapjai. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Weaver, J. C. (2002): Understanding conditions for which biological effects of nonionizing electromagnetic fields can be expected. Bioelectrochemistry, 56: 207–209.
- Wilson, E. O., Bosset, W. H. (1981): Bevezetés a populációbiológiába. Gondolat Kiadó, Budapest.

- Zhao, Y. L., Johnson, P. G., Jahreis, G. P., Hui, S. W. (1999): Increased DNA synthesis in INIT/10T/1/2 cells after exposure to a 60 Hz magnetic field: a magnetic field or a thermal effect? *Radiation Research*, 150: 23-31.
- Zook, B. C., Simmens, S. J. (2001): The effects of 860 MHz radiofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiation Research*, 155: 572-583.
- Zsdanova, N. N., Vasziljevskaja, A. I. (1982): *Ekszperimentalnaja ekologija gribov v prirogye i ekszperimente*. Naukova Dumka, Kijev.

9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

9.1. Magyar nyelvű tézispontok

A legfontosabbnak ítélt új tudományos eredményeket a disszertáció szerkezeti felépítését követve ismertetjük.

1. Az UV-C sugárzás *Alternaria alternata* konídium csírázásra vonatkozó inaktivációs hatáskeresztmetszete $0,126 \text{ cm}^2/\text{J}$, a félettális dózis pedig $5,5 \text{ J/cm}^2$, a *Curvularia inaequalis* konídium csírázására vonatkozó inaktivációs hatáskeresztmetszet $16,28 \text{ cm}^2/\text{J}$, a félettális dózis pedig $0,034 \text{ J/cm}^2$. A szakirodalomban erre vonatkozó adatot nem találtunk.
2. a) A statikus mágneses tér az 1-1,5 mT indukció tartományban gátolja az *Alternaria alternata* konídiumok csírázását. A kontrollhoz viszonyított csírázási arány mintegy 80 %. A 0,1-0,5 és a 2-3,5 mT tartományban a mágneses tér stimuláló hatást fejt ki. A kontrollhoz viszonyított csírázási arány 120-170 % közti érték. A statikus mágneses tér a 0,5-1,5 mT indukció tartományban stimulálja a *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázását. A kontrollhoz viszonyított csírázási arány 120-140 % közti érték. A 2-3,5 mT tartományban, továbbá 0,1 mT indukciónál a mágneses tér gátló hatást fejt ki. A kontrollhoz viszonyított csírázási arány 40-80 % közti érték.
- b) Az 50 Hz-es szinuszos mágneses tér a 0,1-3,5 mT tartományban gátolja az *Alternaria alternata* konídiumok csírázását. A

kontrollhoz viszonyított csírázási arány 60-90 % közti érték. Az 50 Hz-es szinuszos mágneses tér a 0,1-3,5 mT tartományban stimulálja *Curvularia inaequalis* konídiumok csírázását. A kontrollhoz viszonyított csírázási arány 100-140 % közti érték.

3. a) Az UV-C sugárzás mind a hat, kísérletbe bevont gombafaj micélium növekedését átlagosan 48 órára gátolja $1,62 \text{ J/cm}^2$ dózisú besugárzás alkalmazása során. A gátlás további 48 órára fenntartható *Sclerotinia sclerotiorum* fajnál $0,216 \text{ J/cm}^2$, *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* fajoknál $0,432 \text{ J/cm}^2$, továbbá *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma* sp. és *Macrophomina phaseolina* fajoknál $0,81 \text{ J/cm}^2$ dózisokkal.

Az UV-C sugárzás micélium növekedést gátló hatása csökkenthető az UV sugárzást 24 órával követő sárga fénnel történő megvilágítással.

- b) A statikus mágneses tér mind a hat, kísérletbe bevont gombafajnál mintegy 10-15 %-al csökkenti a micélium növekedés sebességét.
4. UV-C sugárzással kezelt *Fusarium oxysporum* tenyészetben sem mikro- sem makrokonídium képződés nem volt megfigyelhető. *Alternaria alternata* és *Curvularia inaequalis* tenyészeteket 0,5 és 1 mT indukciójú statikus mágnes térben tartva 70-100 %-al növekedett a képződött konídiumok száma. *Fusarium oxysporum* tenyészetben a képződött mikrokonídiumok száma 80-85 %-al csökken a kontrollhoz képest.
5. Vörös, kék és UV-C sugárzással kezelt *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetekben a képződött szkleróciumok átlagos száma

szignifikánsan kevesebb, mint a kontrollban, vagy a sárga és zöld fénnel megvilágított tenyészetekben.

Vörös fénnel besugárzott *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetekben a képződött szkleróciumok átlagos tömege szignifikánsan nagyobb, mint a kontrollban képződött szkleróciumok tömege.

Kék fénnel besugárzott *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetekben képződött összes szklerócium tömeg szignifikánsan kisebb, mint a kontrollban.

12/12 és 24/0 fényrendszerben tartott *Sclerotinia sclerotiorum* tenyészetek átlagos szklerócium száma szignifikánsan nagyobb, átlagos szklerócium tömege pedig szignifikánsan kisebb, mint a sötétben (0/24) tartott tenyészetek átlagos szklerócium száma, illetőleg átlagos szklerócium tömege.

6. Vörös fénnel megvilágított *Macrophomina phaseolina* tenyészetben képződött mikroszkleróciumok száma szignifikánsan kevesebb, a zöld, kék és UV-C fénnel besugárzottakban pedig szignifikánsan több, mint a kontrollban. *Macrophomina phaseolina* tenyészetben képződött mikroszkleróciumok átmérői a Weibull eloszlást követik. A kék fénnel és UV-C-vel besugárzott tenyészetek mikroszklerócium eloszlása megváltozott.
7. *Sclerotinia sclerotiorum* három egymást követő generációját 1,62 és 3,24 J/cm² UV-C dózissal besugározva megállapítható, hogy a sugárzásnak sem a képződött szkleróciumok átlagos számában, sem pedig átlagos tömegében generációs hatása nem volt.

9.2. Angol nyelvű tézispontok

The new scientific results considered most important are presented according to the structure of the dissertation.

1. The inactivation cross section of the UV-C radiation for the germination of conidia of *Alternaria alternata* is 0,126 cm²/J and the LD₅₀ value is 5,5 J/cm². The inactivation cross section of the UV-C radiation for the germination of conidia of *Curvularia inaequalis* is 16,28 cm²/J and the LD₅₀ value is 0,034 J/cm².
2. a) The static magnetic field inhibits the germination of conidia of the *Alternaria alternata* in the 1-1,5 mT magnetic flux density region. The germination ratio is 80 percent. The static magnetic field stimulates the germination in the 0,1-0,5 and 2-3,5 mT region. The germination ratio is 120-170 percent. The static magnetic field stimulates the germination of conidia of *Curvularia inaequalis* in the 0,5-1,5 mT magnetic flux density region. The germination ratio is 120-140 percent. The static magnetic field inhibits the germination in the 2-3,5 mT region. The germination ratio is 40-80 percent with respect to the control.
- b) The 50 Hz frequency sinusoidal magnetic field inhibits the germination of conidia of *Alternaria alternata* in the 0,1-3,5 mT magnetic flux density region. The germination ratio is 60-90 percent. The 50 Hz frequency sinusoidal magnetic field stimulates the germination of conidia of *Curvularia inaequalis* in the 0,1-3,5

mT magnetic flux density region. The germination ratio is 100-140 percent.

3. a) UV-C radiation of $1,62 \text{ J/cm}^2$ dose inhibits the mycelial growth of all the six species of fungi tested in experiments for 48 h. The inhibition can be reserved for further 48 hours on *Sclerotinia sclerotiorum* by $0,216 \text{ J/cm}^2$ dose, on *Alternaria alternata* and *Curvularia inaequalis* by $0,432 \text{ J/cm}^2$ dose and on the *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma* sp. and *Macrophomina phaseolina* by $0,81 \text{ J/cm}^2$ dose.

The inhibition effect of UV-C radiation on mycelial growth can be reduced by the radiation of yellow light followed by 24 hours the UV-C radiation.

- b) The static magnetic field reduces the speed of mycelial growth about 10-15 percent at all the six fungi species tested in experiments.
4. The development of micro- and macroconidia of *Fusarium oxysporum* culture radiated by UV-C light can not be observed.
The number of developed conidia of *Alternaria alternata* and *Curvularia inaequalis* cultures growing in static magnetic field of 0,5 and 1 mT flux densities increased 70-100 percent.
The number of developed conidia of *Fusarium oxysporum* culture decreased 80-85 percent.
- 5 The average number of the developed sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* illuminated by red, blue and UV-C light was significantly lower than in the control culture, or in the cultures treated by yellow and green light.

The average mass of the developed sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* illuminated by red light was significantly lower than in control culture.

The total mass of the developed sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* illuminated by blue light was significantly lower than in control culture.

The average number of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* growing in 12/12 and 24/0 light regime is significantly larger, and the average mass of sclerotia is significantly lower than in culture growing in darkness (0/24 light regime).

6. The average number of microsclerotia of *Macrophomina phaseolina* illuminated by red light is significantly lower, illuminated by green, blue and UV-C light is significantly larger than in control. The diameters of microsclerotia developed in *Macrophomina phaseolina* culture follow the WEIBULL distribution. The distribution of diameters of microsclerotia in *Macrophomina phaseolina* culture illuminated by blue and UV-C radiation changes.
7. Generation effect as a result of UV-C radiation of 1,62 and 3,24 J/cm² in three consecutive generation of *Sclerotinia sclerotiorum* could be detected neither in the average number nor in the mass of developed sclerotium.