



**MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM**  
**AGRÁR- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR**

**Növénytermesztési-tudományok Intézet, Agronómiai  
Tanszék**

**Infravörös besugárzás hatásának laboratóriumi vizsgálata a  
magtári gabonasziszik (*Sitophilus granarius L.*) elleni  
védekezésben**

**konzulens:**

**Prof. Dr. Keszthelyi Sándor**  
**egyetemi tanár**

**Intézetigazgató:**

**Prof. Dr. Gyuricza Csaba**  
**egyetemi tanár**

**készítette:**

**Hilmer Máté**  
**Mezőgazdasági mérnök BSc.**

**Kaposvár**

**2022.**

## Tartalomjegyzék

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés.....                                                                                   | 1  |
| 2. Irodalmi áttekintés .....                                                                        | 2  |
| 2.1. A raktári terményfertőtlenítés gyakorlata.....                                                 | 2  |
| 2.2. A raktári terményfertőtlenítés gyakorlata alternatív, környezetbarát megközelítésű módszerei.. | 4  |
| 2.3. Jelentősebb raktári kártevők bemutatása .....                                                  | 8  |
| 2.3.1. A magtári gabonasziszik <i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, 1758) bemutatása .....        | 11 |
| 3. Célkitűzés .....                                                                                 | 14 |
| 4. Vizsgálat.....                                                                                   | 15 |
| 4.1. Anyag és módszertan.....                                                                       | 15 |
| 4.1.1. Rovartenyésztés és infravörös berendezések.....                                              | 15 |
| 4.1.2. Optimális infravörös besugárzási távolság a medián halálos dózis alapján .....               | 15 |
| 4.1.3. A rovarok által fertőzött termény infravörös besugárzása.....                                | 15 |
| 4.1.4. Felnőttkori aktivitás változás IR besugárzás után .....                                      | 17 |
| 4.1.5. Statisztikai analízis .....                                                                  | 17 |
| 4.2. Eredmények.....                                                                                | 17 |
| 4.3. Következtetések.....                                                                           | 21 |
| 5. Összefoglalás:.....                                                                              | 24 |
| 6. Irodalomjegyzék:.....                                                                            | 25 |

# 1. BEVEZETÉS

A Gabonaszizsik (*Sitophilus granarius* L.) egy olyan kozmopolita rovar, ami a tárolt terméseken éli teljes életét. Ezzel azonban sajnos kárt téve, a már energiát, időt és természetesen pénzt befektetett termésekben. Védekezésünk sokrétű, azonban a mai gyakorlatok jelentős része valamilyen kemikáliával egybefont folyamatra alapul. A legelterjedtebb a gázosítás, azonban ez is napjainkban további problémákat vet fel. Ugyanis többükről derült ki, hogy sajnos a maradékanyagai karcinogénnek vagy környezetre károsnak bizonyulnak. (Pl. Ózonkárosító hatású.) Vannak azonban törekvések inszekticid (rovarirtószer) használatától mentes vagy visszamaradó / lebomló megoldások, hogy ökológiai biztonságot tudjunk teremteni. A továbbiakban taglalt kísérletek is egy ilyen módszer, ami az IR besugárzást hívja segítségül. Választ adva milyen hatékony védelmet biztosít ebben az esetben egy kiemelt faj, a gabonaszizsikkal szemben. Ezen diplomamunka részletesen vizsgálja az alkalmazás legoptimálisabb paramétereit, utódnemzedékekre mért hatásait, valamint a termékekre mért hatását. A diplomamunkám részeként kitérek a jelenleg alkalmazott módszerekre, a már taglalt alternatív védekezésekre, valamint szót ejtek a kísérletünk alanyáról és a jelentősebb kártevőkről.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. *A raktári terményfertőtlenítés gyakorlata*

A tárolt mezőgazdasági és állati eredetű termékeket több mint 600 bogárcártevőfaj, 70 lepkefaj és mintegy 355 atkafaj támadja meg, mennyiségi és minőségi veszteséget okozva annak (Rajendran, 2002.)

A fertőtlenítésnek nagy szerepe van a rovarkártevők irtásában a tárolt termékekből. Jelenleg a foszfid (fémfoszfid-készítményekből, hengeres készítményekből és helyszíni generátorokból) és a metil-bromid (hengerekben és fémdobozokban kapható) a két általánosan használt füstölőszer a tárolt termékek védelmére világszerte. A rovarok foszfiddal szembeni rezisztenciája ma már globális probléma és egyes országokban a védekezés kudarcáról számoltak be a helyszíni helyzetekben (Taylor, 1989).

A metil-bromidot, egy széles spektrumú füstölőszert, ózonréteget lebontó anyaggá nyilvánították, ezért teljesen kivonják a forgalomból. Tekintettel a jelenlegi füstölőszerekkel kapcsolatos problémákra, globális érdeklődés mutatkozik az alternatív stratégiák iránt, beleértve a kémiai helyettesítők kifejlesztését, az ellenőrzött légkör kiaknázását és a fizikai módszerek integrálását (MBTOC, 2002).

A leggyakrabban alkalmazott eljárás a gázosítás a raktározott termények kártevőivel szemben. Már több évtizede alkalmazott kártevőirtási megoldás a tárolt terményvédelemben. Kizárólag egészségügyi gázmesteri szakképesítéssel rendelkező ember végezheti. Kis szemcseméretű, folyékony halmazállapotú készítmény ez a gázosítandó vegyszer. Zárt légtérben elterjed, kitölti a teret, ezzel egyidejűleg pedig elpusztítja a célorganizmusokat, valamint azok bármilyen fejlődési alakjait. A XX. század közepétől világszerte alapvetően négy vegyület került alkalmazásra a gyakorlatban, mint gázosítószer: a foszfor-hidrogén, a metil-bromid, az etilén-oxid és végül a cián-hidrogén. A terménygázosítás ma hazánkban szinte kizárólag foszfor-hidrogén (PH<sub>3</sub>) gázzal történik. A gáz fejlesztéséhez az alumínium, illetve a magnézium foszfidjait alkalmazzák, melyekből a levegő nedvességének hatására foszfor-hidrogén képződik. A foszfor-hidrogén egy alacsony molekulatömegű, alacsony forráspontú vegyület, amely gyorsan elterjed.

A gáz, fémfoszfidokból fejlődik, melyek gázképződést szabályozó anyagokat is tartalmaznak. Az alumínium-foszfid formulációja, lehet tablettá, pellet és tasak formában. A magnézium-foszfid csak tablettá és pellet formában készül. A műanyag tasak szabályozza a nedvesség bejutását, így ezzel a gázképződést is. Miután a foszfid kijutott, a maradványa főként alumínium és magnézium hidroxidot tartalmaz. A magnézium-foszfid esetében minimum 48 óra, míg az alumínium-foszfid esetében minimum 72 óra behatási idővel kell számolnunk, mely nagymértékben függ a tárolt termény, termék és élelmiszerkártévők környezeti hőmérsékletétől. A hőmérséklet csökkenésével a behatási időt növelnünk kell. Alkalmazásuk 5°C alatt egyáltalán nem javasolt. Fontos tudni, hogy ez egy erősen mérgező vegyület, mely belélegezve súlyos, akár halálos kimenetelű mérgezést is okozhat. Bizonyos töménységben vagy nagy mennyiségű víz hatására történő gázfejlődés során még akár robbanásveszélyes elegy is képződhet. A gáz a térben először lefelé, majd a gázokra jellemzően minden irányba terjed (naponta kb. egy métert halad gabonában). Nedves, összetömörödött gócpontokba, valamint a poros, törtszemes, polyvás területekre, azonban nem, vagy csak kis töménységben tud eljutni. Veszélytelen felhasználása érdekében fontos előírás betartása, hogy biológiai hatáskifejtésének időtartama után a résmentesen lezárt gáztérből a gázosító szer teljes eltávolítása (szellőztetéssel) biztonságosan megvalósítható legyen. Így az ember és környezetének veszélyeztetése semmilyen körülmények között ne alakulhasson ki. A technológia számos előnyös tulajdonsága közül kiemelhető a széles hatásspektruma, a kezelt terményre nézve pedig közömbös hatása, illetve a legrejtettebb helyen tartózkodó kártevők ellen is biztos hatása. Hátránya a rövid hatástartama, munkaigényes kijuttatása és légtérből való eltávolításának nehézsége. A fóliatakarásos gázosítás lehetővé teszi a termények helyszíni, akár szabadföldi gázosítását. Kivitelezése egyszerű és gyors. Zárt térben és szabadban egyaránt remekül használható megoldás. Épületben, vagonban és konténerben vagy járművön, siktárolóban elhelyezett ömlesztett vagy zsákos termény fóliaborítás alatt megvalósuló gázosításával érhető el annak kártevőjétől mentesítése. A lyukgázosítás a rágcsálók, különösen a nagy kiterjedésű szabad területen, istállók környékén, trágyadombokon, szeméttelepeken és vízpartokon tanyázó kártevők ellen hatásos. Előtt gondoskodni kell a föld alatt futó rágcsálójáratok összes felszínre vezető nyílásainak felderítéséről és azok eltöméséről, majd a gázbeeresztés után a gázosított lyukak eltöméseiről. A járatba helyezett magnézium-foszfid és alumínium-foszfid szemcséből a talajnedvesség hatására foszfor-hidrogén gáz képződik. A buborék, vagy más nevén sátorgázosítás során a kisméretű tárgyakat a felállított, légmentesen zárható sátortérbe helyezve kerülnek elgázosításra és ezzel fertőtlenítésre.

Általában 30 m<sup>3</sup> légterű a felfújható sátor alkalmazunk. A kevés anyagmennyiség kezelésekor különösen gazdaságosnak bizonyul. A silógázosítás során a gáz egyik légtérből a másikba légáthúzatással kerül át. A silócellán belül a gázosító szer eloszlása és ezzel együtt a gázfejlődés egyenletessége már sajnos nem befolyásolható. Ennek a hiányosságnak a kiküszöbölésére találták fel a J-System elnevezésű gázosítási eljárást, amelynek használata során a gázosítás hatékonyságát nagymértékben fokozni tudjuk. A J-System technológia a világ több mint 30 országában már használatos. A hagyományos technológiával ellentétben, a silóban tárolt gabonát nem kell a gázosítással egy időben átforgatni, mert azt a kifejlődött foszforhidrogén gázt egy robbanás biztos motorosventilátor cirkuláltatja a gabonatérben. Ez az eljárás a foszforhidrogén egyenletes elterjedését képes biztosítani, mely a hatékonyságot nagymértékben fokozza. A Malmok, üres terek esetében a kártevők elleni védekezés legfontosabb eszköze a prevenció fenntartása. Így a termény betárolása előtt elengedhetetlen az üres raktárak, silók alapos kitisztítása azok vegyszerrel történő kártevő mentesítése. A beavatkozás előtt gondoskodni kell az épület teljes kiürítéséről, valamint a megfelelő hatásfok elérése céljából az épület teljes szigeteléséről és későbbiekben a kiszellőztethetőségéről. A raktárak inszekticides kezelése során nagynyomású permetezőt használva kijuttatásra kerül a rovarölő szer, mivel a tökéletes borítottság biztosítja a megfelelő hatékonyságú kártevőirtást. Megvalósítása hideg- és meleg ködképző gépekkel zajlik. A meleg ködképzés során a meleg ködképző szert 500-600°C-ra felhevített gázolajban kerül kiporlasztásra. Legnagyobb előnye a gyors rovarölő hatás. A hideg ködképzés során normál hőmérsékletű folyadék porlasztásával képződik a köd. A keverékből a diszperziós közeg, a víz még a permetsugárban elpárolog, a hatóanyag pedig finom köd formájában leülepedik. (Keszthelyi 2021)

## ***2.2. A raktári terményfertőtlenítés gyakorlata alternatív, környezetbarát megközelítésű módszerei***

Gázosító-/füstölőszerek növényi forrásaiból készített fertőtlenítők egy remek alternatíva. Kivonatok és összetevők több mint 75 különböző családokba sorolható növényfajokból kinyerhetők, azaz az *Anacardiaceae*, *Apiaceae* (*Umbelliferae*), *Araceae*, *Asteraceae* (*Compositae*), *Brassicaceae* (*Cruciferae*), *Chemopodiaceae*, *Cupressaceae*, *Graminaceae*, *Lamiaceae* (*Labiatae*), *Lauraceae*, *Liliaceae*, *Myrtaceae*, *Pinaceae*, *Rutaceae*. Az illóolajok rizómáiból (*Acorus calamus* L.), hagymáiból kivont, (*Allium sativum* L.), leveleiből (*Artemisia* spp., *Chenopodium ambrosioides* L., *Curcuma longa* L., *Mentha* spp., *Ocimum* spp., *Rosmarinus officinalis* L.), gyümölcseiből (*Foeniculum vulgare*), gyümölcshéjából (*Citrus* spp.), magvaiból (*Azadirachta indica* A. Juss., *Cuminum cyminum* L., *Elettaria cardamom*-anya

*L. Maton, Eruca sativa L., Pimpinella anisum L., Piper chaba Hunter*), szárított gyümölcsök (*Evodia rutaecarpa Hook*). f. et Thomas), kérgéből (*Cinnamomum aromaticum Nees*) vagy több egyszerre több részéből (a *Lavandula hybrida* leveleiből és virágaiból Reverchon; az *Eucalyptus globulus* leveleiből, virágaiból és terméseiből *Labillardiere*) Fűrészpor (a *Thujopsis dolabrata Siebold et Zuccarni hondai* fajta Makino) bioaktív anyagok kinyerésére is használható elemek. (Ahmed és Eapen, 1986.).

Az illóolajok mellett specifikus növényi kivonatokból/esszenciális olajokból izolált vegyületek, füstölhető anyagok is használhatóak. Teszteket is végeztek kereskedelmi forgalomban beszerzett tiszta vegyületekből (Auger et al., 1999; Huang és mtsai, 1999; Lee et al., 2003) vagy laboratóriumban szintetizáltakból. (Peterson et al., 2000; Park et al., 2004).

A rovarok patogén gombák (IPF) által okozott betegségei széles körben elterjedtek, és hozzájárulnak a rovarpopulációk természetes szabályozásához (Hook CR, 2004). Az entomogén gombák potenciálisan a leginkább sokoldalú biológiai védekező szerek, széles gazdakörüknek köszönhetően. több mint 100 féle körülbelül 750 fajt tartalmazó nemzetségekből áll, amelyek különböző rovarokból származnak (Hassan S., 2014.).

A patogéngombák korlátozzák a talajkártévők bizonyos populációinak előfordulását és a legtöbb rovar áttelelését, a változatos hatásmódú és virulenciájú talajkörnyezetben (Khosravi R, Jalal J, Arash Z, Mohammad A, Shokrgozar A., 2015). A legtöbb entomogén gomba adhéziós mechanizmusokat fejlesztettek ki és a gazdafelület felismerését jelzések, amelyek segítik a közvetlen adaptív választ, beleértve a hidrolitikus, asszimilációs reakciót és méregtelenítő enzimek, beleértve a lipázt/észterázokat, katalázokat, citokróm P450-eket, proteázokat, és kitinázokat; speciális fertőző struktúrák, például apresszorok vagy áthatoló csövek; és másodlagos és egyéb metabolitok, amelyek elősegítik a fertőzést. Az érintett mikroorganizmusok közül a rovarirtásban az entomopatogén gombák (EPF) alkotják a legnagyobb egyedi csoportot kórokozók. Az Entomophthorales és Hypocreales (Hyphomycetes) rendekbe tartoznak (Lacey and H.K. Kaya, 2015).

Az entomopatogén gombák többnyire a Zygomycotina, Ascomycotina, Basidiomycotina csoportba tartoznak és Deuteromycotina. A 85 ismert entomopatogén gomba nemzetség közül csak hat fajok a kereskedelembe kaphatók rovarkártévők elleni alkalmazásra. Az előnyei az entomopatogén gombák szignifikánsan magasabb gazdáik a szintetikus rovarirtó szerekkel szemben a specifikusságuk, a veszélyek csökkentése és az, hogy a rovarok nem képesek rezisztenciát kialakítani, mert az EPF-ek egyszerre több hatásmódot alkalmaznak, és „élő-

peszticidként” vannak kitéve az alkalmazkodásra is. A közelmúltban a *Beauveria bassiana* törzs többszöri vagy egyszeri lombozati alkalmazása a GHA-t (Bb-GHA) hatékonynak találták a Colorado burgonyabogár kezelésében *Leptinotarsa decemlineata* (Wraight SP, Ramos ME., 2015).

Azonban a lassú hatékonyság a vegyi anyagokhoz képest a növényvédő szerek, valamint a különböző biotikus és abiotikus stresszhatásoknak való kitettség a fő korlátok a EPF-eknek. Az EPF viszonylag egyedülálló, és fertőzést okoz a rovar kutikuláján keresztül és nem szükséges lenyelni, így még a szívó rovarok elleni védekezésben is nagy potenciált mutatnak. A gombák sajátossága, hogy a fertőzőképességet az érintkezés okozza, és a hatás átmegy kutikula behatolása, és ezért nagy lehetőséget kínál a kártevők elleni küzdelemben. Szerint a közelmúltban megjelent beszámolók szerint az új entomopatogén gombákat a szöcske kezelésére alkalmazták (Jaronski S., 2015). A legjelentősebb gombakórokozók a *Metarhizium*, *Beauveria*, *Nomurea rileyi*, *Verticilliumlecanii* és *Hirsutella* (Sun X., 2015), édesvízben, talajfelszínen és légiközlekedésben élnek (Hajek AE, Ledger RJ., 1994). Nemcsak a mezőgazdasági kártevők ellen, a *Metarhizium anisopliae* gombák képesek voltak a biokontroll szer a *Culex pipiens* számára (Benserradj O, Mihoubi I, 2014.). A szúnyogok azonban természetes gazdáként szerepelnek *Metarhizium anisopliae*, de egyes törzsek virulensek a szúnyoglárvák (Amóra SSA, Bevilacqua CML, Kamimura MTK, De Oliveira DM, Lima EALA, Rocha MFG., 2010) gombakórokozói ellen, különösen a *B. bassiana*, az *I. fumosorosea* és a *M. anisopliae*-t számos mezőgazdasági szempontból értékelik és az Isoptera rendbe tartozó városi rovarkártevő fajok (Hussain AMY, He Tian YR, Bland JM, Gu WX., 2010) Lepidoptera (Hussain A, Tian MY, He YE, Ahmed S., 2009), Coleoptera (Ansari MA, Shah FA, Tirry L, Moens M., 2006.), Hemiptera (Leite A, Kemper E, da Silva MJ, Luchessi AD, Siloto RP., 2005.). és Diptera (St. Leger RJ, Cooper RM, Charnley AK. 1987.). Ez számos egymást követő felhasználási kísérlethez vezetett entomopatogén gombák kártevők elleni védekezésre különféle mechanizmusok, mint a *Verticillium hemipterigenum* faj másodlagos metabolitok széles skáláját termeli (Horn F, Habel B, Daniel H, Brakhage C, Reinhard GA, Christian HB., 2015), hogy elpusztítsa a rovar. Egy másik esetben a fizikai és biokémiai a *Beauveria bassiana* konídiumainak és a rétegeinek tulajdonságai a konídiumok felületét borító hidrofobinok a gyümölcsök, ronthatják a *C. capitata* jelek észlelő képességét, ezáltal a légy petetartásának jelentős csökkenéséhez vezet (Falchi G, Giovanni M, Maria G, Rui L., 2015).

A légköri gázok különféle kombinációinak a tárolt termék rovarokra gyakorolt hatását számos dolgozó alaposan vizsgálta, és érdekes eredményeket jegyeztek fel (Bailey, 1965; Harein és Press, 1968; Jay és Pearman, 1971; Navarro és Calderon, 1974). Sok ilyen tanulmányban egyértelműen jelezték a CO<sub>2</sub> rovarpusztulást fokozó hatását. Az egyik legérdekesebb és legmeglepőbb megállapítást Harein és Press (1968) tette, amely kimutatta, hogy a *T. castaneum* és a *Plodia interpunctella* a felnőttek esetében a legfeljebb 15% O<sub>2</sub>-t 36% CO<sub>2</sub>-vel kiegészített atmoszféra és 10 napos expozíció idő után halálos volt. Legfeljebb tartalmazó légköri gázkeverékek hatékonyságának vizsgálatában 5% O<sub>2</sub> és 5-35% CO<sub>2</sub>, jelentős kölcsönhatást találtak a vizsgált O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> szint és az expozíciós időszak között. (Calderon és Navarro, 1974)

A kovaföld növényi eredetű anyag, ami remek módja az alternatív védelemnek. A kovamoszat nevű egysejtű, mikroszkopikus méretű moszatok külső héjának egy alkotó eleme. Az elpusztult kovamoszatok váza az elmúlt évmilliók folyamán a tenger fenekére süllyedtek le, felgyülemlettek, és bizonyos helyeken több méter vastag réteget alkottak. A későbbiekben a földkéreg aktív mozgásai okán ezek a rétegek egy része a szárazföldekre jutott. Az ebből kinyert és porított kovaföld számos pozitív tulajdonsággal rendelkezik, melyet alátámaszt a széleskörű felhasználása. Így többek között az őrölt kovaföld a rovarok felületére jutva inszekticid hatással is bír. Megtapadva megzavarja az epikutikulán keresztül történő zsírfelvételt is. Így a rovarok vízzáró réteg hiányában teljesen kiszáradnak. Emellett a szilícium kristályok a kutikulát és trachea csöveket felsértve / károsítva, utat nyitnak a rovarpatogén korokozóknak, mik további védelmet biztosítanak. Ezzel a különböző megjelenési formák pusztulását, illetve a rovarok fejlődési stádiumváltásainak gátlását okozzák. Több tanulmány számol be számos raktári kártevőként ismert ízeltlábú e módszerrel történő sikeres védelméről. Teljesség igénye nélkül pozitív eredmények találhatók a magtári gabonaszizsik (*Sitophilus granarius*), a rizszizsik (*S. oryzae*), az aszalványmoly (*Plodia interpunctella*), a nagy lisztbogár (*Tenebrio molitor*) az amerikai kis lisztbogár (*Tribolium confusum*), illetve a kukorica-lisztbogár (*Tribolium castaneum*) e módszerrel történő sikeres leküzdéséről. A kovafölddel kapcsolatban mindenképp kiemelendő a termék környezetbarát mivoltja. Nem akkumulálódik a terménytélékekben, s rendszeres használata során sem alakul ki a célszervezetekben rezisztencia. Melegvérűek emésztőrendszerébe kerülve viszont nem toxikus, csupán nagy mennyiségben belélegezve okozhat károsodást.

Összességében kockázat nélkül elegyíthető a mezőgazdasági terménytétélekkel. Széleskörű használatának hanyagolása talán a kezelés utáni visszamaradó kövaföldtől való félelem lehet. (Keszthelyi 2021)

### **2.3. Jelentősebb raktári kártevők bemutatása**

Aratás utáni a tárolásból és a rovarokból származó veszteségek 2-4,2%-ot tesznek ki (Kuamr és Kalta, 2017). A rovarok nemcsak pusztán a fogyasztásból, de a terjedésből is okoznak gazdasági veszteségeket, szennyeződéseket is. Körülbelül 600 rovarfaj fordul elő a tárolt gabonákban és azok között között, mintegy 100 faj okoz gazdasági veszteséget a tárolt gabonákban (Banga et al., 2018).

Számos rovarfaj fordul elő, amelyek a tárolt élelmiszer-gabonákban okozzák a fertőzést, ezek lehetnek elsődleges, másodlagos és harmadlagos rovarok. Egyes rovarok szabadon élő rovarokként viselkednek, láthatóvá válnak szemmel is az első vizsgálat során, a rejtett rovarok pedig azok a rovarok, a szemek éretlen állapotában vagy a szemekben való fejlődésük miatt. A rovar válasza különböző természetes és szimulált jellemzőkre, viselkedési és metabolikus válaszokra osztva. A tárolószervezetekben tárolt szemekben a rovarok mozgása a környezeti feltételeken múlik. A nyári szezonban a rovarfertőzés a szem felszínén történik, és csomókban terjed az egész mennyiségre, míg a téli szezonban a rovarok az alsó és a középső részeken nyüzsögnek a tárolószervezetről. A támogató körülmények iránti vonzalom és a füstölőszerek elkerülése, vagy kezelt felületek, viselkedési szempontokba kerülnek, míg a metabolikus válasz magában foglalja a válaszokat, amelyek a rovarok fejlődésének elősegítésére vagy visszaszorítására használhatóak (Bell, 2014)

Az elsődleges rovarok azok, amelyek képesek megharapni vagy átszúrni az ép és stabil szemeket, pl. gabonaszizsik (*Curculionidae*) a tárolt gabonaszemek fő rovarja. Az elsődleges rovarok először a gabonát támadják meg. Képesek lebontani a kemény maghéjat a teljeskiőrlésű gabonát és a mag belsejébe rakják le a tojásaikat és a növekvő lárvák okozzák a fertőzést a mag belsejében.

Az elsődleges rovarok gyakran nagyon gyorsan fejlődnek és szaporodnak az optimális feltételek mellett, amelyek lehetővé teszik a nagy populációk kialakulását. Általában pusztítóbbak, mint a másodlagos kártevők, különösen a gabonafélék rövid távú tárolásánál (Banga et al., 2018)

A másodlagos rovarok követik az elsődleges rovarokat. Táplálékuk a már termékekké feldolgozott termékek, pl. liszt vagy a rossz cséplés következtében sérült, esetleg szárítás és kezelés okából. A vörös lisztbogár (*Tribolium castaneum*) gyakori másodlagos rovar. A másodlagos rovarok először kívülről eszik meg a gabonát. Másodlagos rovar jelenléte gyakran azt jelzi, hogy a gabona nincs szuperlatív állapotban, és az intézkedéseknek annak kell lenniük azért, hogy megvédjék a gabonát a minőség további romlásától. A harmadlagos rovarok táplálékai a törött szemek, gabonapor és az elsődleges és másodlagos rovarok által hagyott maradványok. A zavart lisztbogár a teljes kiőrlésű gabonák harmadlagos rovarja. Ezenkívül az őrölt szemek, például a liszt másodlagos rovarja. A rovarok okozta fertőzés számos veszteséget okoz, pl. súlycsökkenés, életképes értékvesztés és kereskedelmi értékvesztés, táplálkozási veszteség egészségügyi veszélyek, tárolási veszteség. (Banga et al., 2018)

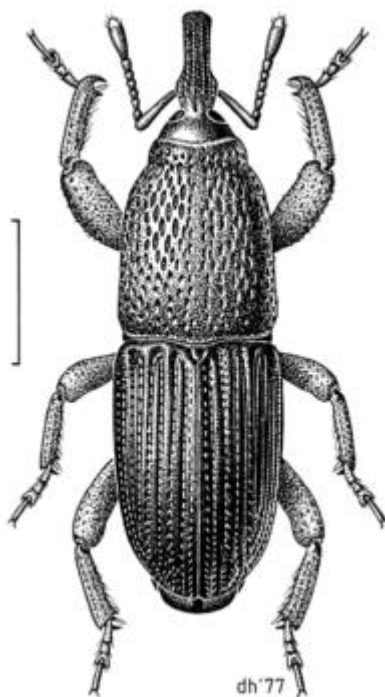
A betakarítás utáni nagy veszteségek elsősorban a tárolás során jelentkeznek a rovarok két nagy csoportja szerint: *Coleoptera* (bogarak) és *Lepidoptera* (lepkék és lepkék). *Lepidoptera* károsítja a gabona a lárvá állapotában, míg a *Coleoptera* esetében, a lárvák és az imágók egyaránt károsítják a gabonát (Sallam, 2008) A *Coleoptera* nagyobb pusztítást okoz a tárolt élelmiszer-gabonákban a lepkékhez képest (Upadhyay és Ahmad, 2011) A tárolt élelmiszer-gabonákban a rovarfertőzés megelőzése szükséges alacsony nedvességtartalom és alacsony hőmérséklet. A biztonságos nedvesség a gabonafélék hosszú távú tárolására szolgáló tartalomnak 12% alatt kell lennie. hüvelyesek 10-12%, olajos magvak esetében 7-9% (Chakravarty, 2014). A szemek biztonságos tárolási hőmérséklete legyen atkák esetében 5 °C alatt, rovaroknál 15 °C alatt, rovaroknál 10 °C alatt tartandó formák (Chakravarty, 2014) A rovarok penészgombák evolúciója és 10% és 13% alatti nedvességtartalom mellett lefoglalt atkák élelmiszer-gabonák (Banga et al., 2018) Az élelmiszer-gabonák tömeges tárolása is befolyásolja a fertőzést sebesség, 50 MT vagy nagyobb tárolt élelmiszergabona silókban/ládákban hűt lassan, és így több romlást okozhat, mint a kisebb, 27 tonna vagy annál kisebb kapacitású szerkezetek (Kumar & Rai, 2014)

1. Táblázat. Főbb kártevők:

| Közönséges megnevezés | Család (rend)               | Tudományos név                             | Károsult termékek                                                                          | Élettartam                                                       | Hivatkozások                             |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Gabonafélék           |                             |                                            |                                                                                            |                                                                  |                                          |
| Rhyzopertha           | Bostrichidae (Coleoptera)   | <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius)    | Minden gabonaszemet megfertőz, de leginkább búzában, kukoricában fordul elő, rizs és köles | 25 nap 34 °C-on                                                  | Edde, 2012 [16]                          |
| Gabonaszizsik         | Curculionidae (Coleoptera)  | <i>Sitophilus granarius</i> (L.)           | búza, kukorica, rozs, zab, árpa, cirok                                                     | 25-38 nap 30 °C-on és 70% relatív páratartalom                   | Pražić-Golić et al., 2011 [39]           |
| Rizszsizsik           | Curculionidae (Coleoptera)  | <i>Sitophilus oryzae</i> (L.)              | Rizs, búza, árpa, időnként borsó                                                           | 25 napig 29,1 °C-on és 70% relatív páratartalom                  | Batta, 2004 [9]                          |
| Kukoricaszizsik       | Curculionidae               | <i>Sitophilus zeamais</i>                  | Kukorica, Búza                                                                             | 26 nap 30 °C-on 76% relatív páratartalom                         | Rees, 2004 40] Kranz és mtsai, 1997 [23] |
| Rozsdás gabona bogár  | Laemophloeidae (Coleoptera) | <i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Stephens) | búza, árpa, rozs, tritikálé, zab, és esetenként őrölt termékek                             | Akár 9 hónap                                                     | Neethirajan és társai, 2007              |
| Lisztmalom bogár      | Laemophloeidae (Coleoptera) | <i>Cryptolestes turcicus</i> (Grouvelle)   | Liszt, sérült gabona, gabona hulladék                                                      | Az átlagos élettartam 1 év, 17-37 °C és relatív páratartalom 90% | Neethirajan és társai, 2007              |

|                        |                            |                                       |                                                                |                                                        |                        |
|------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------|
| Kereskedő gabona bogár | Silvanidae (Coleoptera)    | <i>Oryzaephilus mercator</i> (Fauvel) | Előnyben részesíti a feldolgozott gabonaféléket, ill liszteket | 14-46 nap 20 °C-on, és optimális állapotban 30–32,5 °C | Pierce és mtsai, 1990  |
| Fűrészfogú gabonabogár | Silvanidae (Coleoptera)    | <i>Oryzaephilus Surinamensis</i> (L.) | Zab, búza, árpa, takarmány, len, napraforgó                    | 3-4 hét 30 °C-on                                       | Mowery és társai, 2002 |
| Hosszú fejű lisztbogár | Tenebrionidae (Coleoptera) | <i>Latheticus Oryzae</i>              | Waterhouse<br>Cirok, kukorica                                  | 112 nap 25 °C-on                                       | Atwa, 1986             |

### 2.3.1. A magtári gabonaszizsik *Sitophilus granarius* (Linnaeus, 1758) bemutatása:

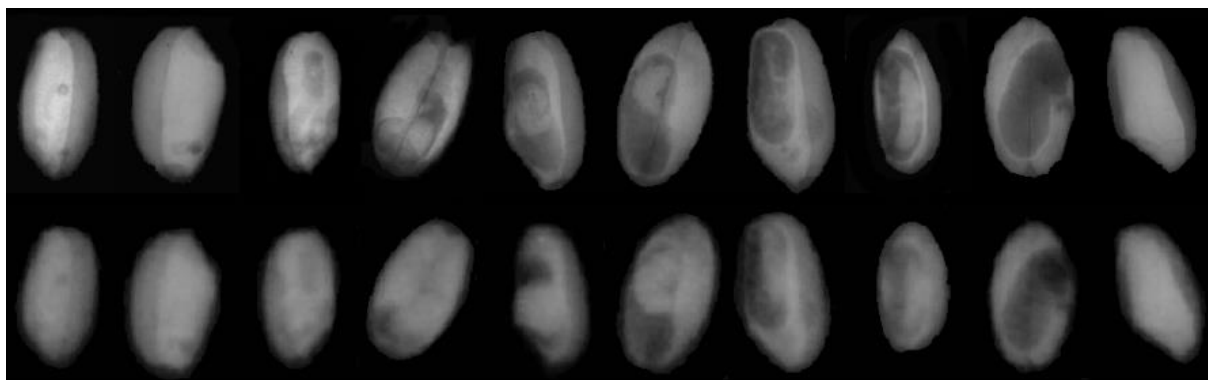


1. Ábra. (Coleoptera: Curculionidae) *Sitophilus granarius* illustrated by Des Helmore.  
(Forrás: Des Helmore / Manaaki Whenua – Landcare Research, 1997)

Morfológiáját tekintve a gabonaszizsik tojása elipszoid alakú, áttetsző, tejfehér, mérete 0,5-0,8 mm. Csontszínű a lárvája, határozott fejtokos kukac, mely megbújva, a megtámadott mag belsejében fejlődik. Az egész báb idejét ott tölti. Imágója 2-3,5 milliméter hosszú, sötétbarna vagy fényes fekete színű, jellegzetes ormányosbogár.

Szárnyfedőin párhuzamos, hosszanti irányú barázdák futnak végig / találhatóak meg. Fejlett elő-tora sűrűn pontozott, az ormány hátán is hosszanti pontsorok találhatóak. Másodlagos páros hártás szárnya csökevényes, ezért repülés képtelen. Mind a lárva, mind az imágó már rendelkezik rágó-szájszervvel. Eredetileg Kelet-Mediterránból származó faj, mely napjainkra a világ szinte minden pontján megtalálható, ezzel kozmopolita károsítónak nőtte ki magát. Jelentősebb kártételei a világ mérsékelt éghajlatú területeiről taglaltak. A trópusi országokban azonban ritkák, ott elsősorban a hegyvidéki hűvös területekre korlátozódik jelenlétük. Érdekesség, hogy bár 1923-ban megtalálható volt Japánban, mára nem alakultak ki stabil populációi ott. A repképtelen kártevő terjesztésében elsődleges oka az emberi tevékenységek. A károsított tételek szállítása, a göngyölegek, csomagoló anyagok, szállító eszközök nem megfelelő fertőtlenítése egyaránt szerepet játszik a faj terjesztésében. A rovar több tápnövényen élőszködik, de elsődlegesen egyszikű növények szemterméseit károsítja. Így a búzán, árpan, rozson, zabon, tritikálén, rizsen, de a kukoricán, kölesen, akár a tárolt napraforgó kaszaton is kifejtheti kártételét. Oligofág károsítónak a napraforgón kialakított károsítása mellett azért nem nevezhető, mert egyéb tárolt tételekben, mint pl: a korpán vagy összezsomósodott lisztben is képes kárt okozni, azokon elszaporodni. Az imágó eleinte a rágásával a megtámadt szem felületén kialakított üregbe helyezi tojásait. Az ott kikelt kukac teljesen rejtett életmódot folytatva felhasználja a szem teljes endospermium tartalmát és ezzel elpusztítja a növényi embriót. A lárva és az imágó kártételének következménye legtöbbször a termés teljes belső szöveti alkotóinak megsemmisülése és csupán a maghéj visszamaradása. Jelenlétükről a megtámadt tételek alján összegyűlt lisztszerű rágcsálékok árulkodnak csak. További, másodlagos kár, hogy az elszaporodását támogató párás környezet, teret biztosít szaprotróf mikrogombák (mint például *Penicillium*, *Fusarium* stb.) kialakulásában. Ezen gombák között említhető toxintermelő fajok, méreganyag kontaminációjukkal tovább károsítják a tárolt termény felhasználhatóságát, veszélyeztetik minőségét. A nagy tömegű jelenlétük okán az anyagcseretermékeik (pl.: húgysav) terményekben történő akumulációja is kíséri, mely természetesen a további értékleromlás előidézője. Évente 3-4 nemzedék képződik, az imágó pedig telel, rejtett helyeken, kéreg és falrepedéseket használva. Aktívvá csak tavasszal 10-12°C hőmérséklet mellett válik. Kártételét elősegítő klímaoptimuma 20-26°C és 60-70% rh. mellett van. Fejlődési sebességét szintén a hőmérséklet és páratartalom befolyásolja (pl.: a mag 14% alatti víztartalma gátolja fejlődését), ami átlagosan 1,5 hónap. Az imágó élettartama pedig 8-10 hónap, azonban kivételesen ennél több is lehet. (Keszthelyi, 2021)

Digitális röntgenképek (alul) és szkennelt filmképek (felül) minden fertőzöttségi szintnél.



Tojás    Instar 1    Instar 2    Instar 3    Instar 4    Előlárva    Lárva    Felnőtt    Üres    Fertőzetlen

2. Ábra. Röntgenképek a gabonaszizsik életciklusáról.

(Forrás: *Real-time X-ray inspection of wheat for infestation by the granary weevil, Sitophilus granarius (L.)* R. P. Haff, D. C. Slaughter 2004.)

### **3. CÉLKITŰZÉS:**

Ennek a kísérlet sorozatnak az elsődleges célja, hogy egy fenntarthatóbb maradék inszekticid mentes megoldást kutassunk a tárolt termékek védeleme érdekében, ezen kísérletek alatt a gabonazsizsik károsítása ellen. Annak gyakorlati felhasználáshoz elengedhetetlen a szükséges paraméterek kísérletei, hogy a leghatékonyabb módon tudjuk alkalmazni a besugárzáson alapuló védelmet. Ezzel igazolva, maga a módszer felhasználhatóságát. Fényt szeretnénk deríteni a távolság adta különbségekre, az expozíciós idő múlásának hatására, a zsizsik aktivitására mért hatására, valamint az utódnemzedékek mibenlétére.

## **4. SAJÁT VIZSGÁLATOK:**

### **4.1. Anyag és módszertan**

#### ***4.1.1. Rovartenyésztés és infravörös berendezések***

A rovartenyésztést 13,5 %-os nedvességtartalmú búzaszemeken kezdtük meg. A kifejlett rovarok mind a két nemmel és vegyes életkorral rendelkeztek. A kultúra fenntartására a rovar klíma optimumát egy klímakamrával, ahol  $26 \pm 2$  C°-on,  $60 \pm 7\%$  relatív páratartalmat biztosítottunk. Minden kísérlet azonos környezeti feltételek mellett végeztük.

A kísérlethez felhasznált izzólámpa egy Tungsram izzólámpa volt. Adatai: 250W 235-245V E27-es foglalat. Nyolc alumínium tölcserrel borítottuk be az izzókat, amiket faoszlopra kötöttünk majd egymás mellé akasztottuk őket.

#### ***4.1.2. Optimális infravörös besugárzási távolság a medián halálos dózis alapján***

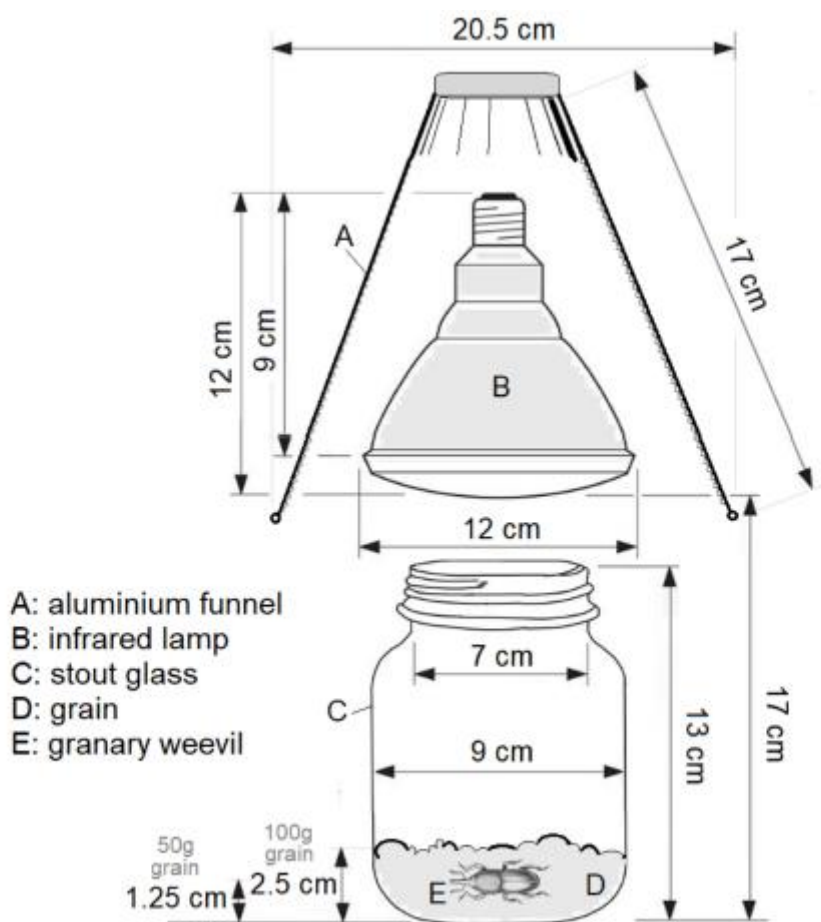
Öt különböző besugárzási távolság rovarpusztulási (LD50) hatásait vizsgáltuk, amelynek eredményét a későbbi termény irradiációs kísérletek alkalmazták tovább. Az üvegedény aljától a lámpáig mért távolságok 13, 15, 17, 19, és 21 cm. A kísérletekhez magmentes, üres üvegedényeket használtunk, melybe 10 egészséges gabonaszizsik imágókat adtunk hozzá. Minden kezelést 4-szer ismételtünk. A minták folyamatos besugárzás alatt voltak, amíg a kísérletben használt felnőttek 50 százaléka el nem pusztult. A halálozási arányt minden vizsgált távolságon folyamatosan nyomon követtük. Négy minta kezelésenként egyidejűleg  $26 \pm 2$  C°-on,  $60 \pm 7\%$  relatív páratartalom mellett sugároztuk be. A mért LD50 értékeket koordináta-rendszerben ábrázoltuk az idő függvényében.

#### ***4.1.3. A rovarok által fertőzött termény infravörös besugárzása***

Kezeletlen, tiszta és fertőzésmentes, 13,5%-os nedvességtartalmú búzaszemeket használtunk a kísérlethez. A búzaszemekből két különböző súlycsoportot alakítottak ki (50 és 100 g). Minden minta 20 egészséges, vegyes ivarú felnőtt gabonaszizsik egyedből áll egy kis üvegedénybe helyezve. A poharakat textíliával borítottuk és helyeztük el a ventilátorral felszerelt klímakamrában  $26 \pm 2$  C°,  $60 \pm 7\%$  relatív páratartalom és 14/8 fotoperiódus mellett.

Az infravörös hullámok rovarpusztulásra gyakorolt hatásának felmérése (összehasonlítva a kezeletlen mintákkal), összesen öt besugárzási időt állítottunk be. Ugyanazt a besugárzási teljesítményt (250 W) alkalmaztuk folyamatosan 45, 60, 90, 150 és 210 másodpercig (expozíciós idő) besugárzás távolság 17 cm volt (1. ábra).

Minden kezelés 4 ismétlést tartalmazott. Nyolc minta (4-4 az 50 és a 100 g) kezelésenként egyidejűleg  $26 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $60 \pm 7\%$  relatív páratartalommal sugároztuk be. A halott a felnőtteket egyedeket 12, 24, 48 és 72 óra elteltével számoltuk meg.



4. Ábra. Az infravörös kísérleti beállítás paraméterei.

Az egyedeket (elpusztult és élő) eltávolítottuk minden mintából a 72 órás számlálás után az IR besugárzás utódokra gyakorolt hatásának megismerése érdekében. Az üvegedények visszakerültek a inkubátorban további 45 napig. Ezen időszak után megszámolták a kikelt gabonaszizsik imágókat, élőnek vagy halottnak ítéltük meg őket, és eltávolítottuk az üvegedényekből.

#### **4.1.4. Felnőttkori aktivitás változás IR besugárzás után**

A 100 g tömegű búzamazogokat kis üvegedénybe helyeztük (ugyanazokat, mint a korábbi kísérletekben), amelyhez 20 egészséges, vegyes életkorú és ivarú gabonasziszik imágókat adtunk hozzá. A kísérletet négyszer megismételtük. A mintákat bent tartottuk a fent leírt körülmények között. A mintákat infravörös lámpákkal sugároztuk be 17 cm távolságban és 210 másodpercig, hogy nyomon követhessük az IR besugárzás által kiváltott felnőttkori aktivitásbeli változásokat. A mintákról a besugárzás során 10 másodpercenként készült pillanatfelvétel, Canon EOS D80 kamera segítségével.

Ezeket a feljegyzéseket utólag értékelték, amelynek során az aktivitás mértéke (DA) volt meghatározva.  $DA = m \times d$ , ahol  $m$ : az üveg falán megjelenő felnőttek száma,  $d$ : a termés felületétől legtávolabb kúszó felnőtt távolsága (cm).

#### **4.1.5. Statisztikai analízis**

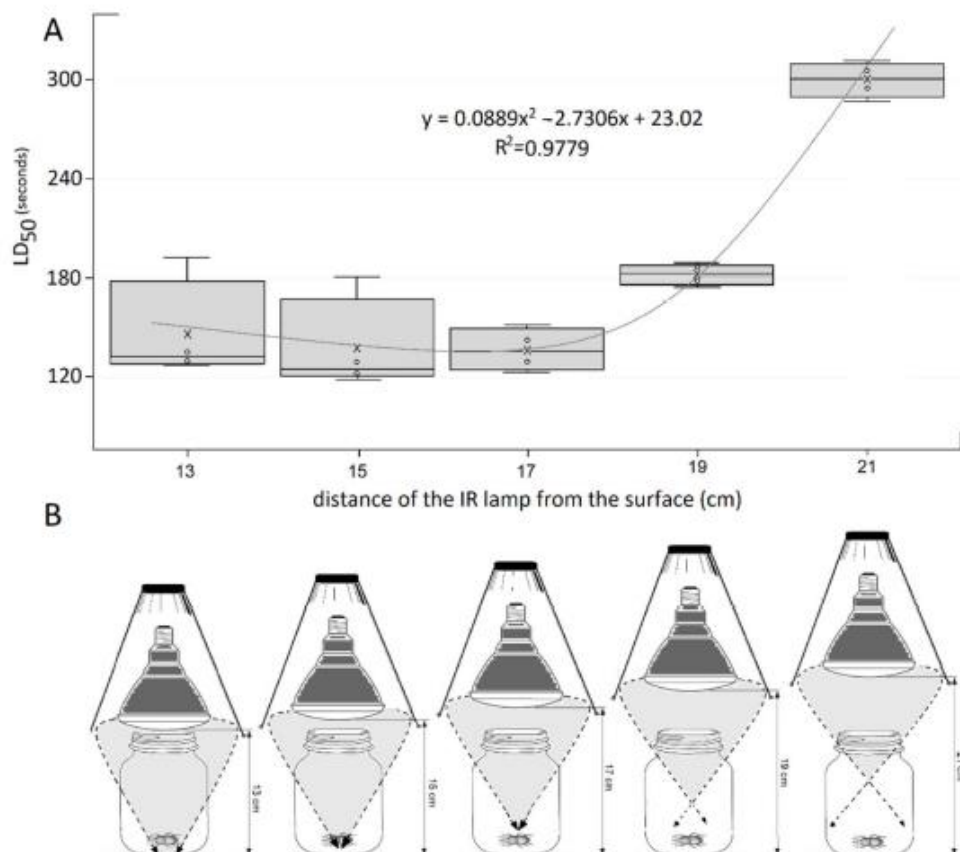
A halálozási számokat Abbott képletével korrigáltuk. A tesztelés érdekében a gabonasziszik ( $n > 50$ ) mortalitási adatait Shapiro–Wilk teszttel végeztük. Az adatok eloszlásának felmérésére ( $p < 0,05$ ), a Ghasemi- és Zahediasl-típusú módszerek voltak alkalmazva. Az adatokat kétirányú ANOVA-val elemeztük az SPSS 11.5 szoftverben, válaszváltozóként a sziszik mortalitást, valamint az expozíciós időt és az eltelt időt az IR besugárzás után, mint fő paraméterek. Különböző súlyú minták mortalitási értékeit is mint az utódszámot, statisztikailag is vizsgáltuk egyutas ANOVA-val. Eszközök: Tukey (HSD).

#### **4.2. Eredmények**

A medián halálos dózis (LD50) az infravörös besugárzás különböző távolságaiban mérve a 2A ábrán látható. A polinom típusú LD50-et lineárisan okozta az alkalmazott infravörös teljesítmény megnövelt besugárzási távolságai. A halálozási görbék két jól körülhatárolható részre oszlanak. Az LD50 érték lassú csökkenésében figyelhető meg a tendencia első fele a sugárforrás optimális távolságáig (17 cm).

Ez a távolság bizonyult a legoptimálisabbnak. Átlagosan a kísérleti állatok felét pusztította el a 250 W izzólámpától számítva ezen a távolságon, 148 másodperc alatt. Az LD50 tendenciája – lassú után gyorsuló — exponenciális növekedést mutatott válaszul a forrás távolságának növelésére az infravörös besugárzástól. Az infravörös besugárzás által kiváltott LD50 érték a 21 cm távolság 300 s alatt alakult ki. Ez a felmérés azt sugallja, hogy a besugárzás

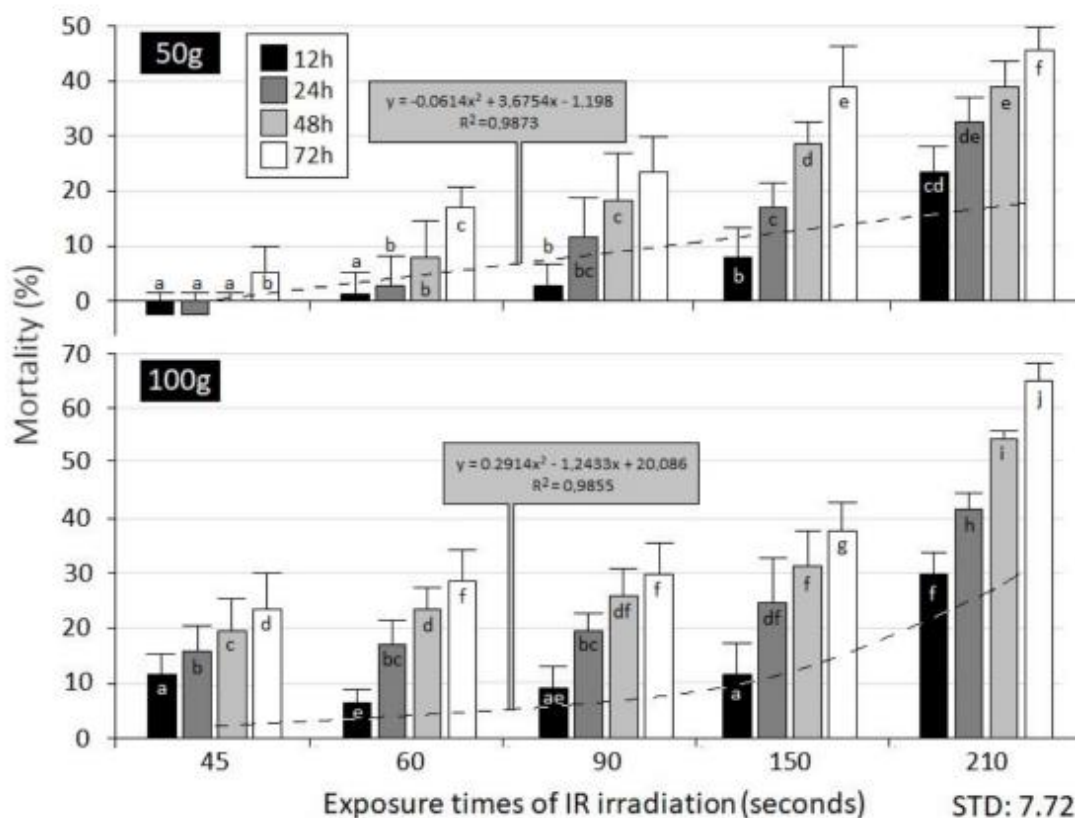
hatékonyságát elsősorban a kibocsátott elektromágneses hullámok beesési szöge diktálja, ami megfelel a sugárforrás és az aközötti optimális távolság megtalálásának a céltárgy felületétől (2B. ábra).



5. Ábra. Medián letális dózis (LD<sub>50</sub>) az infravörös besugárzás különböző távolságaiban az idő függvényében. (A) mortalitási értékek és egyéb statisztikai paraméterek. (B) Az infravörös besugárzás (IR) hatékonyságának változásának lehetséges magyarázata a felszíntől való távolságtól függően.

A különböző tömegű szemek esetében mért rovarpusztulást a 3. ábra mutatja, a kezelések függvényében. A Shapiro-Wilk normalitásteszt azt mutatta, hogy a halálozási adataink normál eloszlásúak,  $p > 0,05$ . Jelentős különbségek a mortalitásban az épek között és a kezelt mintákat statisztikai elemzéssel tártuk fel. Az expozíciós idő hatása IR besugárzás (50 g:  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ ; 100 g:  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ ) és az után eltelt idő ezek a kezelések (50 g:  $df = 3$ ;  $p < 0,001$ ; 100 g:  $df = 3$ ;  $p < 0,001$ ) a kiváltott mortalitáson a gabonasziszik adatait kétutas ANOVA-val egységesen igazoltuk mindkét kijuttatott szemek súlyára. A két fő vizsgált tényező (expozíciós idő és a kezelés után eltelt idő) a mortalitásra vonatkozóan statisztikailag nem volt szignifikáns.

A rovarpusztulás növekedése a hosszabb besugárzási idő, a kezelés után eltelt idő mindkét szempontból a kezdetet követő 12 órától nyilvánvaló volt. A legmagasabb expozíciós idő indukálta a legnagyobb mortalitást mindkét vizsgált súlynál: 210 s és 50 g szempontból (72 óra: 45,45%); és azonos expozíciós idővel és 100 g szempontból (72 óra: 64,93%) (3. ábra). A rövid besugárzási időszakok egyike sem váltott ki elfogadható mortalitást/növényvédelmi hatékonyságot. Az első időintervallumban a rovarok besugárzás miatti pusztulást mutattak, a kezelés után (12 óra) szinte minden expozíciós rendszerben; ezt a tendenciát megközelítőleg azonos ütemben tartottuk a hosszabb időn keresztül a kezelés kezdetétől mért intervallumokban. Ez a különbség a hatékonyságban az egyes a kezelés után eltelt időintervallum statisztikailag nem igazolható ( $p < 0,05$ ). A rovarpusztító hatások teljes hiányát csak egy esetben figyelték meg (210 másodpercnél és 50 g szempontból 48 óra alatt: 0,00%).



6. Ábra: Abbott-korrigált százalékos halálozási arány az IR besugárzással kezelt gabonasziszik imágóknál (átlag SE), a különböző expozíciós idők és a kezelés után eltelt idők függvényében. Különböző kis betűk szignifikáns különbségeket mutattak a kezelések között.

A polinom típusú mortalitási folyamat (szoros összefüggések R négyzetekkel) mindkét szemtömeg esetében a besugárzás lineárisan megnövekedett expozíciós ideje okozta.

A rovarok progresszív időintervallumoknak voltak kitéve, amelyek a kezdetet követően szignifikáns növekedést mutattak a mortalitásban minden egyes expozíciós időben. A rovarpusztulás szignifikáns növekedése volt kimutatható 150 és 210 s között, mindkét súlyú mintáknál. Jelentős különbségek voltak a minták halálozási arányai között különböző súlyoknál. Körülbelül 1,5-2-szer magasabb mortalitási értékeket figyeltek meg 100 g tömegű minta minden expozíciós időpontjában. Ezt a különbséget statisztikai adatok is alátámasztották, annak elemzése is ( $df = 1$ ;  $p < 0,001$ ). Azonban egy meredekebben emelkedő halandóság is kialakult a nagyobb szemtömegnél (100 g) az expozíciós idő növekedésével. Ezekről függetlenül, a kísérleti rovarok teljes mortalitása egyik alkalmazott kezelésnél sem fordult elő.

A kapott polinomiális képletek alapján végzett számításunk szerint 100 százalékos mortalitás 412 s besugárzással 50 g gabonánál és 256 s besugárzásnál várható 100 g gabonátömegnél. Az expozíciós idő növekedésével a felnőtt utódok száma mindkettőnél csökkent gabonasúly (50 és 100 g) (1. táblázat). Ez a megfigyelés mindkét esetben statisztikailag igazolódott kísérleti súlyok. Negyvenöt nap elteltével a mintapopulációk utódtermelése körülbelül 50%-ra csökkent 60 másodperces besugárzási időknél az ép gabonasziszikéhez populációkhoz képest. A kifejlett utódok száma 50 és 100 g szemtömeg között különbözött, de ez a különbség statisztikailag nem bizonyított. Jelentős utódcsökkenést váltott ki a hosszabb besugárzási időszakok. Ennek ellenére az utódtermelés teljes visszaszorítása nem figyeltük meg, még a leghosszabb expozíciós idő (210 s) után sem. Mindkettő szemtömegben a besugárzásos kezelés hatása az elhullott utód egyedek számára statisztikailag egységesen igazolódott.

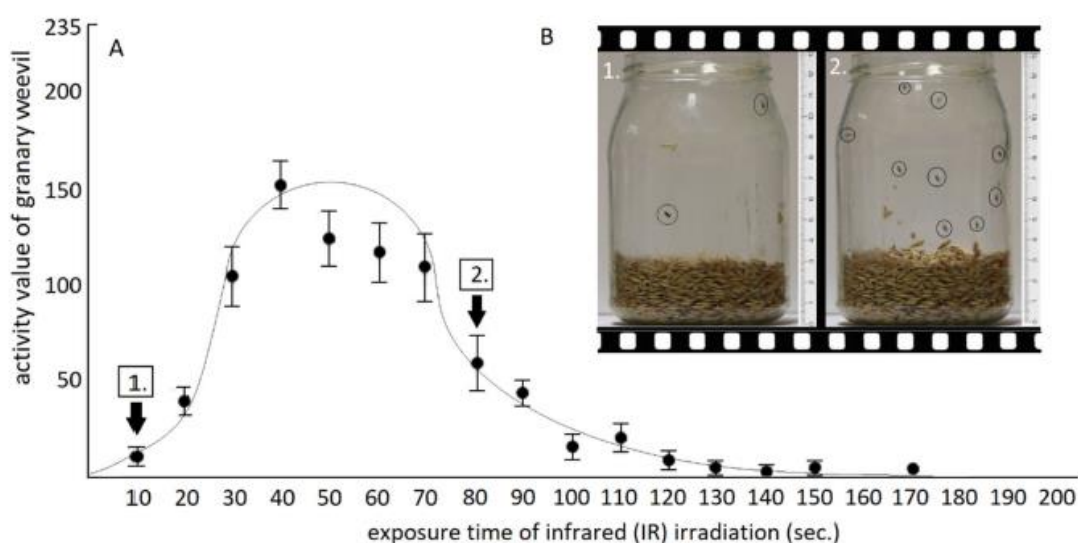
2. Táblázat. Gabonasziszik utódtermelése (az imágók átlagos száma SE) és az elhullott utódok százalékos aránya (% SE) infravörös besugárzással kezelt búzán 45 nappal a kitett gabonasziszik imágók eltávolítása után, és a statisztikai összefüggéseik ( $p < 0,05$ ).

|                   |         | No. Progeny  |     | % Dead Adults |     | No. Progeny  |     | % Dead Adults |     |
|-------------------|---------|--------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|
| Weight of Grain   |         | 50 g         |     |               |     | 100 g        |     |               |     |
| exposure times    | control | 21.25 ± 1.10 | (a) | 11.69 ± 1.61  | (a) | 37.25 ± 5.57 | (a) | 9.50 ± 2.63   | (a) |
|                   | 45 s    | 14.50 ± 1.19 | (b) | 25.09 ± 4.08  | (b) | 15.00 ± 3.08 | (b) | 34.19 ± 2.56  | (b) |
|                   | 60 s    | 13.75 ± 4.51 | (b) | 30.80 ± 9.63  | (c) | 19.75 ± 1.25 | (c) | 40.10 ± 2.52  | (c) |
|                   | 90 s    | 11.25 ± 0.25 | (c) | 27.66 ± 4.49  | (b) | 14.00 ± 1.68 | (b) | 38.37 ± 2.53  | (c) |
|                   | 150 s   | 7.75 ± 1.25  | (d) | 32.43 ± 8.90  | (c) | 14.25 ± 1.88 | (b) | 37.87 ± 3.35  | (c) |
|                   | 210 s   | 5.00 ± 1.15  | (d) | 50.83 ± 6.68  | (d) | 14.50 ± 0.95 | (b) | 26.59 ± 2.10  | (d) |
| df = 5; p < 0.001 |         |              |     |               |     |              |     |               |     |

$df = 5$ ;  $p < 0.001$

Different small letters showed significant differences among treatments according to Tukey's test.

Az infravörös besugárzás előrehaladása során a felnőttek aktivitási görbáját az aszimmetrikus parabolatípus jellemzi (4A. ábra). A kezdetektől a besugárzás hatására az aktivitás folyamatosan nőtt, ami kezdetben meredeken emelkedett. Gyorsan elérte tetőpontját, amely a 40-50 s között következett be. A legtöbb felnőtt az üvegedény falán (4B. ábra) és a búzaszemek felületén voltak találhatóak ebben az időszakban. Ezt követően tevékenységük lelassult és egy hosszabb bomlási fázis után a felnőttek mozgása visszatért az alapvonalhoz. Ez a csökkenő fázis átlagosan 140 másodpercig tartott; háromszor hosszabban, mint a bevezető időszak. A tevékenység végén a felnőttek a szemek közé bújnak, hogy elkerüljék a pusztító besugárzás hatásait.



7. Ábra A magtárzsizsik aktivitási foka az infravörös expozíciós idő növekedése következtében. (A) Hajlam, mozgási tevékenység; (B) Fényképek, amelyek a mozgás-tevékenységet ábrázolják.

#### 4.3. Következtetések

Infravörös besugárzás hatása a kifejlett gabonaszizsikre pusztító és utódszuppresszív hatásait kísérletünk igazolta. Az infravörös kezelés hatékonysága a növényvédelmet más tanulmányok is megerősítették sokrétű ízeltlábú kártevők, beleértve azokat is, amelyek veszélyt jelentenek a közegészségügyre és az erdőgazdálkodásra, valamint a tárolt termékkártevők által. A *Sitophilus* nemzetségből elsősorban a kukoricaszizsik, a *S. zeamais* és a rizszizsik, a *S. oryzae* már korábban is vizsgálták. Eredményeink szerint a magasabb gabonaszizsik mortalitási arányokat értünk el hosszabb expozíciós idővel és hosszabb eltelt idővel, amelyek az infravörös-besugárzásos kezelések után teltek el.

Ezen túlmenően eredményeink azt mutatják, hogy a beállítás, illetve a javasoltnak való megfelelés az infrasugárzó és a kezelendő felület közötti távolság nagyon fontos a várható hatékonyság szempontjából. Meg kell jegyezni, hogy az IR besugárzás optimális távolsága befolyásolja a fertőzött gabona jelenléte vagy hiánya. Valójában a gabonasziszik a fertőzött gabona nélkül átlagosan 148 másodpercig kellett besugározni az 50%-os mortalitás eléréséhez, míg a gabonával végzett kísérletek során több mint 21 másodpercre volt szükség az 50%-os mortalitás kimutatásához, csak akkor, ha az elhullott rovarokat 72 órával (50 g) vagy 48 órával (100 g) a kezelés után megszámloltuk.

A legtöbb korábbi tanulmány főként különböző fejlődési szakaszokra összpontosított (pl. tojás), a szemnedvesség hatása vagy a hőmérséklet hatása a gabona, a *S. oryzae* teljes mortalitása a kifejlett értékeket 8,0 cm-re érték el az emittertől 113,5 g búza felhasználásával, 60 másodperces expozíció mellett.

Eredményeinkhez képest egyértelmű, hogy az alacsonyabb hőmérsékleti viszonyok hosszabb besugárzási időt igényelnek a teljes mortalitás eléréséhez, mert a gabonának fel kell melegednie. A gabonasziszik mortalitás jelentős növekedése figyelhető meg a magasabban fekvő szemekben. Ez a nagyobb hatékonyság magyarázható a speciális fűtő jellegével infravörös, mivel túlnyomórészt az átlátszatlan, nedvszívó és nagyobb súlyú tárgyakat melegíti fel, mivel így nagyobb fokú hőt tud továbbítani. Ennek ellenére ez a módszer alkalmas lehet kis mennyiségű tételek, valamint a hiány miatt üres raktár vagy padlók fertőtlenítésére. A korábbi eredmények rámutattak, hogy csökken a mag embrió életképessége. Kísérleti vizsgálatok kimutatták, hogy hőt lehet termelni a magvakban az anyagcsere-tevékenységek során, ami válaszként észrevehető károsodást válthat ki a magvak változó fiziológiai állapotára.

Ezért a besugárzás gondos kiválasztása az adag és az időt figyelembe kell venni a vetőmagok kezelése során. Ez a káros hatás nem lehet esetünkben azért jelentős, mert a mintaszemet nem vetőmagként, hanem takarmányként használtuk. Ebből a szempontból a palántaképesség nem meghatározó a kezelt gabonák takarmányhasznosításában. A kártevők aktivitása közvetlenül a besugárzás kezdete után megnőtt. A gabonasziszik aktivitási fokát természetesen befolyásolja több általunk nem vizsgált paraméter (pl. üvegfelület hőmérséklete, tárolás minősége, doboz, levegőmennyiség és így tovább), de az aktivitás változásának tendenciája attól függően megerősítették eredményeinket. Kombinált védelem, maradék rovarirtó szerrel és néhány alternatív módszerrel már ismert a betakarítás utáni technológiákban, amelyeket több tanulmány eredménye is megerősített. A kezelésnek az utódokra gyakorolt elnyomó következményeit megerősítették kísérleti megfigyeléseink.

Ismeretes, hogy az infravörös besugárzásnak káros hatásai vannak rovarokon, mint például a *S. oryzae* szaporodási sebességének csökkentése.

Vizsgálatunk rámutatott arra, hogy az infravörös sugárzásnak rovarölő hatása van a gabonasziszik felnőtteken és utódsuppresszív hatása van.

Ezért az infravörös sugárzás lehet az ígéretes eszköz a védekezési stratégiákban, mint fenntartható eszköz a kémiai védekezés helyettesítésére, bizonyos helyzetekben. Eredményeink is hozzájárulhatnak egy megbízhatóbb és megvalósíthatóbb módszerhez, a tárolt termékkártevők elleni védekezésben.

Megfelelően megválasztott infravörös besugárzás (intenzitás és időtartam) a gabonasziszik lárva és kifejlett egyedek kezelésére használható lehet. Ez a kezelés önmagában és más megoldásokkal együtt kombinálva hatékony és életképes lehet környezeti kezelési technikákban, az integrált növényvédelmi (IPM) programokban.

## 5. Összefoglalás:

Ezen kísérletek jól igazolták, hogy a besugárzáson alapuló védekezés hatásos módszer a raktározott termékek védelme érdekében a gabonasziszikkel szemben. Igazoltuk, hogy a legoptimálisabb távolság a 17 cm. A kísérlet bizonyítja, hogy a hosszabb expozíciós idő nagyobb pusztulást idéz elő. A besugárzás hatással van a gabonasziszik aktivitására, először növeli majd visszaesik. Igazoltan utódsuppresszív hatása van a besugárzásnak. Ez a kísérlet lehetőséget ad további vizsgálatokra más kártevőkkel szemben, esetleg más védekezésekkel együtt / kombináltan használva. A hatékonysága mellett egy inszekticid maradék mentes és fenntartható védekezést biztosít, ezzel bővítve az alternatív védekezések tárházát. Azonban ezek gyakorlatbéli érvényesítéséhez további kísérletek szükségesek. Gyakorlati használata véleményem szerint kérdéses, erre a módszerre a nagytermelő cégeknek jelentős beruházással és költségekkel kellene számolniuk. A kiépítésen felül az áramfelhasználás és a hálózat külterületi megvalósítása okán. Előnyt jelent, hogy egy ilyen rendszer nem igényelne külön egészségügyi gázmesteri szakképesítéssel rendelkező személyt. Kisebb vagy otthoni megoldásokként szerintem remekül alkalmazható módszer lehet.

## 6. IRODALOMI JEGYZÉK:

Ahmed, S.M., Eapen, M., 1986. Vapour toxicity and repellency of some essential oils to insect pests. *Indian Perfumer* 30, 273–278. Ahn, Y.J., Lee, S.B., Lee, H.S., Kim, G.H., 1998. Insecticidal and acaricidal activity of carvacrol and b-thujaplicine derived from *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* sawdust. *Journal of Chemical Ecology* 24, 81–90.

Amóra SSA, Bevilaqua CML, Kamimura MTK, De Oliveira DM, Lima EALA, Rocha MFG. The effects of fungus *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* on different stages of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). *Acta Tropica*. 2010; 113(3):214-220.

Ansari MA, Shah FA, Tirry L, Moens M. Field trials against *Hoplia philanthus* (Coleoptera: Scarabaeidae) with a combination of an entomopathogenic nematode and fungus *M. anisopliae* CLO 53, *Biological Control*. 2006; 39(3):453-459.

Atwa WAA. Biological studies on *Latheticusoryzae* Waterhouse (Coleoptera: Tenebrionidae). *Monoufeya Journal of Agricultural Research* (Egypt). 1986.

Auger, J., Cadoux, F., Thibout, E., 1999. *Allium* spp thiosulfinates as substitute fumigants for methyl bromide. *Pesticide Science* 55, 200–202. Banks, H.J., 1984. Fumigation and the properties of gases. In: Champ,

Bailey, s.w., 1965. Air - tight storage of grain; its effect on insect pests.-IV. *Rhyzopertha dominica* F. and some other Coleoptera that infest stored grain.

Baldwin R, Fasulo TR. Confused Flour Beetle, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae) and Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). USA: University of Florida IFAS Extension. 2003.

Banga KS, Kotwaliwale N, Mohapatra D, Giri SK. Techniques for insect detection in stored food grains: An overview. *Food Control*. 2018; 94:167-176

Batta YA. Control of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L., Coleoptera: Curculionidae) with various formulations of *Metarhizium anisopliae*. *Crop Protection*. 2004; 23(2):103-108.

Bell CH. A review of insect responses to variations encountered in the managed storage environment. *Journal of Stored Products Research*. 2014; 59:260-274.

Benserradj O, Mihoubi I. Larvicidal activity of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* against mosquito larvae in Algeria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014; 3(1):54-62.

Chakravarty A. *Post-Harvest Technology of Cereals, Pulses and oilseeds*, third edition, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. 2014

Des Helmore / Manaaki Whenua – Landcare Research, 1997

Dr. Keszthelyi Sándor: *Tárolt Termény-, Élelmiszer- És Termékkártevők*, 2021

Edde, Peter A. A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*. 2012; 48:1-18.

Falchi G, Giovanni M, Maria G, Rui L. Hydrophobins from aerial conidia of *Beauveria bassiana* interfere with *Ceratitis capitata* oviposition behavior. *Biological control*. 2015; 81:37-43

Hajek AE, Ledger RJ. Interaction between fungal pathogens and insect hosts, Annual Review of Entomology. 1994; 39:293-322.

Hassan S. Entomopathogenic Fungi as Potent Agents of Biological Control. International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR). 2014; 2(3):221-229.

Hooks CR, Kratochvil R. Agronomic Crop Production. Agronomy News University of Maryland Extension 501 Court Lane, Room 208 Cambridge, MD 21613 410-228- 8800, 2014.

Horn F, Habel B, Daniel H, Brakhage C, Reinhard GA, Christian HB et al. Draft Genome Sequence and Gene Annotation of Entomopathogenic Fungus *Verticillium Hemipterigenum*. Genome Announcements. 2015; 3(1):e01439-14.

Hussain A, Tian MY, He YE, Ahmed S. "Entomopathogenic Fungi disturbed the larval growth and feeding performance of *Ocinara varians* Walker (Lepidoptera: Bombycidae) Larvae, Insect Science, 2009; 16(6):511-517.

Hussain AMY, He Tian YR, Bland JM, Gu WX. Behavioral and electrophysiological responses of *C. formosanus* towards entomopathogenic fungal volatiles, Biological Control, 2010; 55:166-173.

Jaronski S. Evaluation of Novel Entomopathogenic Fungi for Grasshopper Management. Crop Protection and Quarantine (304). 3032-22000-016-01. 2015, 1-2.

J. stored Prod. Res.. 1: 25-33. Falderon, M. and ~avarro, S., 1979. Increased toxicity of low

oxygen atmospheres supplemented with carbon dioxide on *Tribolium castaneum* adults. *Entomologia exp. appl.* 25: 39-44.

Jay, E.G. and Pearman, G.C. Jr., 1971. Susceptibility of two species of *Tribolium* (Coleoptera, Tenebrionidae) to alteration of atmospheric gas concentrations. *J. stored Prod. Res.*, 7: 181-186.

Khosravi R, Jalal J, Arash Z, Mohammad A, Shokrgozar A. Virulence of four *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Asc. Hypocreales) isolates on rose sawfly, *Arge rosae* under laboratory condition. *King Saud University Journal of King Saud University- Science. Journal of King Saud University-Science*. 2015; 27:49-53

Kranz JK, Schmutterer H, Koch W. Diseases, pests and weeds in tropical crops. New York: Wiley, 1997, 666.

Kumar G, Rai DV. Management strategies for storage, disinfestation and insect detection of grains and seeds. *Progressive Agriculture*. 2014; 14(1):87-101

Lee, B.H., Annis, P.C., Tumaalii, F., 2003b. The potential of 1, 8-cineole as a fumigant for stored wheat. In: Wright, E.J., Webb, M.C., Highley, E. (Eds.), *Stored Grain in Australia 2003. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, 25–27 June 2003, Canberra, CSIRO Stored Grain Research Laboratory, Canberra, Australia*, pp. 230–234.

Leite A, Kemper E, da Silva MJ, Luchessi AD, Siloto RP, Bonaccorsi E et al. Expression of correctly processed human growth hormone in seeds of transgenic tobacco plants. *Mol. Breed.* 2005; 6:47-53.

MBTOC, 2002. 2002 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC) 2002 Assessment. UNEP, Nairobi, Kenya.

Mowery SV, Mullen MA, Campbell JF, Broce AB. Mechanisms underlying saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* [L.]) (Coleoptera: Silvanidae) infestation of consumer food packaging materials. *Journal of Economic Entomology*, 2002; 95(6):1333-1336.

Navarro, S. and Calderon, M., 1974. Exposure of *Ehretiacautea* (Wlk.) pupae to carbon dioxide concentrations at different relative humidities: the effect on adult emergence and loss of weight. *J. stored Prod. Res.*, 10: 237-241.

Neethirajan et al., 2007

Park, D.S., Peterson, C., Zhao, S., Coats, J.R., 2004. Fumigation toxicity of volatile natural and synthetic cyanohydrins to stored-product pests and activity as soil fumigants. *Pest Management Science* 60, 833–838. Paster, N., Menasherov, M., Ravid, U., Juven, B., 1995. Antifungal activity of oregano and thyme essential oils applied as fumigants against fungi attacking stored grain. *Journal of Food Protection* 58, 81–85.

Peterson, C.J., Tsao, R., Coats, J.R., 2000. Naturally occurring cyanohydrins, analogues and derivatives as potential insecticides. *Pest Management Science* 56, 615–617. Pheloung, P., Macbeth, F., 2002. Export inspection: adding value to Australia's grain. In: Wright, E.J., Banks, H.J., Highley, E. (Eds.),

Pierce AM, Pierce HD, Oehlschlager AC, Borden JH. Attraction of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) and *Oryzaephilus mercator* (Fauvel) (Coleoptera: Cucujidae) to some common volatiles of food. *Journal of chemical ecology*, 1990; 16(2):465-475.

Pražić-Golić M, Andrić G, Kljajić P. Effects of 50 C temperature on *Sitophilus granarius* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *Pesticidi fitomedicina*, 2011; 26(3):221-227.

R.W.D. Taylor *International Pest Control*, 31 (1989), pp. 10-14

Real-time X-ray inspection of wheat for infestation by the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) R. P. Haff, D. C. Slaughter 2004.

Rees DP. *Insects of stored products*. Manson Publishing Ltd. London, 2004.

S. Rajendran, V. Sriranjini / *Journal of Stored Products Research* 44 (2008) 126–135 127

S. Rajendran D. Pimentel (Ed.), *Encyclopedia of Pest Management*, Marcel Dekker, Inc., New York (2002), pp. 654-656

Sallam MN. *Insect damage: damage on postharvest*. AGSI/FAO: INPhO. 2008.

Schreurs J, Janovy Jr, J. Gregarines on a diet: The effects of host starvation on *Gregarina confuse* (Apicomplexa: Eugregarinida) in *Tribolium destructor* Uyttenboogaart, (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Journal of Parasitology*. 1933, 2008, 94(3):567-570.

St. Leger RJ, Cooper RM, Charnley AK. Production of cuticle-degrading enzymes by the entomopathogen *Metarhizium anisopliae* during infection of cuticles from *Calliphora*

Sun X. History and Current Status of Development and Use of Viral Insecticides in China. *Viruses*, 2015; 7:306-319

Wraight SP, Inglis GD, Goettel MS. Fungi, In: Field manual of techniques in invertebrate pathology, L.A. Lacey and H.K. Kaya, (Eds.), 223-248, 2nd edition, Springer, Dordrecht, ISBN 978-1-4020-5931-5.

Wraight SP, Ramos ME. Delayed efficacy of *Beauveria bassiana* foliar spray applications against Colorado potato beetle: Impacts of number and timing of applications on larval and next-generation adult populations. *Biological Control*. 2015; 83:51-67.

## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönöm Prof. Dr. Keszthelyi Sándornak, Lukács Helgának és Dr. Pál-Fám Ferencnek a segítségeiket.

Köszönöm a MATE Kaposvári campusnak és Növénytermesztési tudományok Intézet, Agronómiai Tanszékének, hogy biztosították tanulmányaimat.

## Melléklet

## Nyilatkozat



Kaposvári Campus, Kaposvár  
Cím: 7400 Kaposvár, Guba Sándor utca 40.  
Tel.: +36-82/505-800  
Honlap: <https://kaposvar.uni-mate.hu>

### 5. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

#### NYILATKOZAT

Alulírott HICMER MATE, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvári Campus, MEISZÁZ KASÁGI MEJZNOK szak nappali/levelező\* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen ☒ nem\*

Kelt: 2022 év 11 hó 02 nap

  
Hallgató

#### NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom\*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen ☐ nem\*

Kelt: 2022 év 11 hó 02 nap

  
Belső konzulens

\*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!