

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA 2023

SAPIENTIA EMTE - MAROSVÁSÁRHELYI KAR –

SEPSISZENTGYÖRGYI TANULMÁNYI KÖZPONT

Növényi illóolajok antimikrobiális hatásának vizsgálata, és alkalmazási lehetőségük az aktív és intelligens csomagolásban

Hallgatók: *ing. Dániel Balázs* – Élelmiszeripari Mérnök Szak, I. év.

Baricz Anett – Élelmiszeripari Mérnök Szak, III. év.

Témavezető: *dr. György Éva* - Élelmiszertudományi Tanszék

dr. András Csaba Dezső - Élelmiszertudományi Tanszék

Csíkszereda

2023. május 03.

Tartalom

Kivonat.....	3
1. Bevezetés.....	4
1.1. Zöldségek, gyümölcsök, fűszernövények romlását okozó fontosabb mikroszkopikus gombák ..	4
1.1.1. Mikotoxinok gyümölcsökben és zöldségekben	6
1.1.2. Mikotoxinok előfordulása fűszerekben.....	9
1.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatása a mikroszkopikus penészgombákra	10
1.2.1. Illóolajok	10
1.2.2. Az illóolajok kémiai összetevői.....	11
1.2.3. Illóolajok antimikrobiális hatása a mikroszkopikus penészgombákra	12
1.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatása	14
1.3.1. Illóolajok csírázásgátló hatása a burgonyánál	14
1.4. Az okos (aktív és intelligens) csomagolások típusai és jelentőségük.....	16
1.4.1. Biológiai lebomló intelligens csomagolás	18
1.4.2. Biológiai lebomló aktív csomagolás	21
1.5. A növényi illóolajok és kivonatok felhasználási lehetőségei az okos csomagolások területén...	22
2. A kutatás célja.....	24
3. Anyag és módszer	24
3.1. A mikroszkopikus penészgombák izolálása.....	24
3.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatásának vizsgálata.....	25
3.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálata	25
3.4. Illóolaj tartalmú kitozán és Na-alginát filmek készítése és alkalmazása	26
3.5. Növényi kivonatok indikátor anyagként való felhasználása	27
4. Az eredmények kiértékelése	27
4.1. A növényi anyagokról kimutatott mikroszkopikus penészgombák.....	27
4.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatása a vizsgált penészgombákra	30
4.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálati eredményei	35
4.4. Az illóolaj tartalmú ehető filmek és a vizsgált növényi kivonatok alkalmazási lehetőségei	38
5. Következtetések	42
6. Jövőbeni célkitűzések.....	43
7. Irodalomjegyzék	43

Kivonat

Az aktív és intelligens csomagolások meghosszabbítják az élelmiszerek eltarthatóságát, olyan alkotóelemeket tartalmaznak melyek megbízható információval látják el a fogyasztót a csomagolt élelmiszer állapotáról. A növényi illóolajok antimikrobiális, antioxidáns hatása mellett, fontos kiemelni az aktív csomagolás területén való alkalmazási lehetőségüket is. Különféle növényi illóolajok, vagy azok keveréke, a növényi illóolaj komponensek megfelelően alacsony koncentrációban egy alternatív megoldást jelenthetnek a klasszikusan alkalmazott szintetikus tartósítószerrel szemben. Ennek egyik lehetősége az éhető filmekbe való beépítésük.

Kutatásunk célja a növényi illóolajok alkalmazása aktív csomagolások esetén, a mikroszkopikus penészgombákra kifejtett gátló hatásukra, illetve csírázásgátló tulajdonságukra alapozva, valamint intelligens csomagolás tervezése.

A kutatás során friss gyümölcsökről, zöldségekről, burgonyagumóról és gyömbér rizómáról szelektív táptalajokon mikroszkopikus penészgombákat izoláltunk. Több illóolaj (kakukkfű, oregánó, citromfű, menta, szegfűszeg, levendula stb.) antimikrobiális hatását vizsgáltuk az izolált penészgombák és laboratóriumi mikotoxin termelő fajok esetében. Továbbá teszteltük burgonyára tizennyolc illóolaj csírázásgátló hatását is. A hatékonynak bizonyult illóolajokat (pl. kakukkfű, oregánó, szegfűszeg) a továbbiakban aktív filmek hatóanyagaként használtuk fel, a csomagolóanyagra illetve a növényre történő felvitellel, amelyek biztosítják a légtérben vagy a felületre történő kontrollált kibocsátást.

1. Bevezetés

A különféle növényi illóolajok, vagy azok egyes hatóanyagai megfelelően alacsony koncentrációban egy alternatív megoldást jelenthetnek a klasszikusan alkalmazott szintetikus tartósítószerrel szemben. Ennek egyik lehetősége az ehető filmekbe való beépítésük, az okos csomagolások esetében való alkalmazásuk.

Az okos élelmiszer-csomagolás a hagyományos csomagolástervezés kiterjesztése. Teljesíti az alapvető csomagolási funkciókat (védelem, kommunikáció, kényelem és tárolás), és célja a hagyományos csomagolással járó biztonsági kockázatok csökkentése a környezettel és az élelmiszerrel való tudatos kölcsönhatás révén. Valójában számos tanulmány kiemelte az illóolajok okos csomagolóanyag részeként történő felhasználásának hatékonyságát nagyon különböző élelmiszer-mátrixokban.

A növényi illóolajok kivonása, kinyerése és beépítése új csomagolási rendszerekbe, például biológiailag lebomló filmekbe alternatív lehetőséget jelenthet az élelmiszer-csomagolás terén. A kutatás során különféle növényi illóolajok mikroszkopikus gombákra kifejtett gátló hatását és csírázásgátló hatását vizsgáltuk, valamint ehető filmekben való beépítési lehetőségeit.

1.1. Zöldségek, gyümölcsök, fűszernövények romlását okozó fontosabb mikroszkopikus gombák

A gombák birodalma az eukarióta szervezetek egy csoportja, amelybe olyan egysejtű és többsejtű mikroorganizmusok tartoznak, mint az élesztőgombák és a penészgombák. Az egyik fontos csoportot képviselik, amely a gyümölcsöket és zöldségeket, valamint más élelmiszeripari termékeket, mint például bort, gyümölcslevet, gyümölcspürét, lekvárokat, húst és cheddar sajtot szennyeznek (Nieminen és mtsai. 2008; Gammariello és mtsai. 2013). Ezen kívül a gyümölcsök, zöldségek és gabonafélék betakarítás utáni romlása a fitopatogének, különösen a gombás kórokozók által jelentős gazdasági veszteségeket okoz (Liu és mtsai. 2017).

Attól kezdve, hogy az ember elkezdett növényeket termesztetni és élelmiszert raktározni, a romlást okozó gombák követelték a tizedüket. A fehér vagy fekete, zöld, narancssárga, vörös és barna bolyhok, porok és nyálkák formájában megjelenve az élelmiszer nyersanyagokon vagy

termékeken élettani folyamatoknak köszönhetően egy idő után a tápláló termékek élvezhetetlenné vagy nem biztonságossá válhatnak (Pitt és Hocking 2009).

Mivel az élelmiszerek szennyeződhetnek mikroszkopikus gombákkal is, ennek következtében az élelmiszeriparban gyakran használnak kémiai adalékanyagokat a gombák okozta romlás megelőzése céljából (Ribes és mtsai. 2017). Bár az élelmiszerromlás elleni védekezés leghatékonyabb módszerei a kémiai adalékanyagok, ezek negatív fogyasztói megítélése és a gombaölő szerek használatára vonatkozó szigorúbb szabályozás (Wisniewski és mtsai. 2016; Calvo és mtsai., 2016) megnövelte az érdeklődést az élelmiszerek védelmére szolgáló új alternatívák iránt, amelyek a szintetikus szereket természetes vegyületekkel helyettesítik (Russo és mtsai. 2016).

A romlást tekintve a friss élelmiszerek két típusra oszthatók: élő sejteket tartalmazó élelmiszerek, beleértve a gyümölcsöket, zöldségeket, dióféléket és gabonaféléket, és nem élő sejteket tartalmazó élelmiszerek, mint például a hús, tej vagy gyümölcslé. Ismét teljesen eltérő a romlás fajtája, és a romlást okozó gombák fajtái (Pitt és Hocking 2009).

A penészgomba elnevezés különböző életmódú, mikroszkopikus alakú, szaporodású hífafonális gombák gyűjtőneve. Aerob, heterotróf szervezetek, melyek közül a romlást okozók a környezetben szaprobiontaként élnek, vannak azonban olyanok, melyek akár emberi, állati vagy növényi szervezetet is képesek megtámadni. Általában növénykórokozó és parazitaként tartják számon. Számos faj pszichotróf, 0 °C körül is szaporodik, Szénforrásként főként szerves vegyületeket, köztük fehérjéket, cellulózt és összetett fehérjéket hasznosítanak. Extracelluláris enzimeket termelnek. Széles határok között szaporodnak, a nedvességet igénylik az oxigén mellett, valamint a kissé savas pH-t kedvelik (Deák és mtsai. 2006; György 2021).

A mikroszkopikus penészgombák az élelmiszeripari növényi alapanyagokat szennyező mikroorganizmusok; előfordulási gyakoriságukat elsősorban természetes tényezők határozzák meg, és csak bizonyos mértékig antropogén hatás. A növényi nyersanyagokba minden fázisban behatolhatnak, beleértve a vegetációt, a szedést, a szállítást és a tárolást (Minaeva és mtsai. 2019). A legjelentősebb gombák itt a következő nemzetségekbe tartoznak: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* és *Claviceps* (Minaeva és mtsai. 2019).

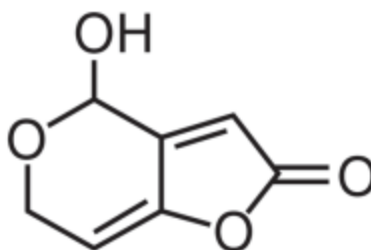
A penészes élelmiszerek és takarmányok komoly kockázatot jelenthetnek a fogyasztók egészségére a romlás során keletkező toxikus anyagcseretermékek, az úgynevezett mikotoxinok miatt (Altomare és mtsai. 2021). Kémiai szempontból a mikotoxinok szerkezetileg változatos,

kis molekulatömegű vegyületek, amelyek az elsődleges anyagcsere során keletkező kevés prekursorból szintetizálódnak (Martín és mtsai. 2014).

A mikroszkopikus gombák által termelt mikotoxinok között egyaránt megtalálhatók a nagyon mérgezőek, mint a zearalenon (ZEA), de oxinivalenol (DON), aflatoxinok (AF B1), fumonisinek (FB1 és FB2), ochratoxin A (OTA) és patulin, T-2 toxin, valamint az új keletű mikotoxinok (EMT), amelyeket még nem vizsgáltak eléggé: enniatinok, bovericin, moniliformin, fuzproliferin, fuzarinsav, sterigmatocisztin, emodin, mikofenolsav, alternariol és annak monometil-étere, tenuazonsav, aszperglaucid és ten toxin (Zhang és mtsai. 2018; Sedova és mtsai. 2018). A mikotoxinok tényleges veszélyt jelentenek az emberre, mivel rákkeltő, mutagén és teratogén hatást fejtenek ki, elnyomják az immunrendszert, és számos betegséget idézhetnek elő (Wu és mtsai. 2014).

1.1.1. Mikotoxinok gyümölcsökben és zöldségekben

A patulin termelői a *Penicillium* (*P. expansum*, *P. claviforme*, *P. urticae*), az *Aspergillus* (*A. clavatus*, *A. terreus*) és a *Byssoschlamys* nemzetségek penészgombái (1. ábra). A gyümölcsfertőzések a fán, a virágzás, a növekedés és az érés során, valamint a betakarítás után a teljes szállítás, tárolás és értékesítés során jelentkeznek. Tudományos kutatások eredményei alapján az almában és az abból készült termékekben található patulint 100%-ban a *Penicillium expansum* törzs termeli. Gyakran előfordul, hogy a gomba a fitopatogén *Botrytis cinerea* által károsított gyümölcsöknél is előfordul (Enikova és mtsai. 2020).

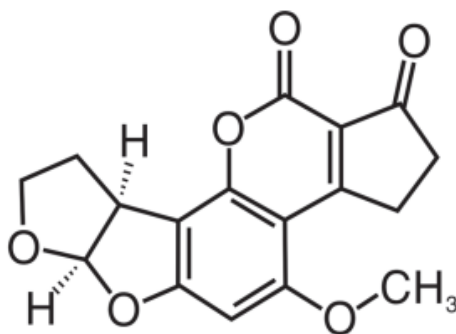


1.ábra. A patulin kémiai szerkezete (Enikova és mtsai., 2020)

Az aflatoxinokat bizonyos penészgombák (*Aspergillus flavus* és *A. parasiticus*) termelik. Az "aflatoxin" kifejezés az *A. flavus* nevéből származik. Az aflatoxinok (AfT-k) világszerte a legfontosabb mikotoxinok a toxicitás, az előfordulás és a gazdasági hatás szempontjából (2. ábra) (Enikova és mtsai. 2020).

Az aflatoxinok különböző formái léteznek, a fő típusok az aflatoxin B1 (AfB1), amely a fő termelt toxin, B2 (AfB2), G1 (AfG1) és G2 (AfG2); a haszonállatok metabolizálják ezeket a formákat, és átalakítják őket a kevésbé káros aflatoxin M1 (AfM1) és M2 (AfM2) formákká, amelyek a tejben, húspan és más tejtermékekben található. Az AfT-eket elsősorban az *Aspergillus flavus* (AfB1 és AfB2) és az *A. parasiticus* (AfB1, AfB2, AfG1 és AfG2) gombák termelik. Más *Aspergillus* fajok, azaz az *A. nomius*, *A. sergii*, *A. bombycis*, *A. minisclerotigenes*, *A. parvisclerotigenus*, *A. pseudocaelatus*, *A. pseudotamari* és *A. ochraceoroseus* szintén aflatoxigén, de jelentőségük a mikotoxinok előfordulása szempontjából elhanyagolható (Altomare és mtsai. 2021).

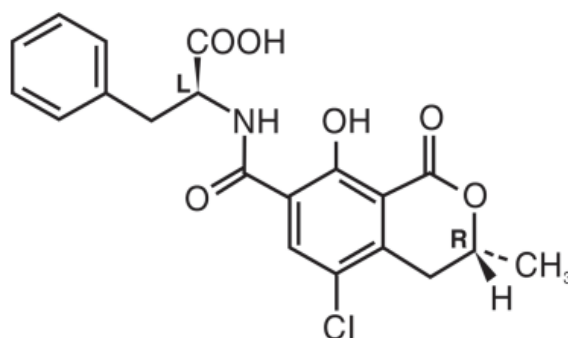
Az aflatoxinok képződésének teret adnak a gabonafélék is - kukorica, búza, köles, rizs, árpa, zab stb. További kockázatos termékek a tea, gyógynövények és gyógyszerek, sok fűszer - bors, szerecsendió stb. Aflatoxin hordozók lehetnek a füge és különféle más szárított gyümölcsök is (Enikova és mtsai. 2020).



2.ábra. Az aflatoxin B1 kémiai szerkezete (Enikova és mtsai., 2020)

Az ochratoxinok olyan mikotoxinok, amelyeket az *Aspergillus* és *Penicillium* számos faja termel - bizonyos körülmények között a széles körben elterjedt *A. ochraceus* és *P. viridicatum* -, valamint az *A. carbonarius*, *A. niger*, *A. tubingensis* és mások (3. ábra). Az ochratoxin A, B és C típusok ismertek, de a legnagyobb toxicitása az ochratoxin A mikotoxinnak van (Enikova és mtsai. 2020; Wang és mtsai. 2016).

Számos növényi termékben megtalálható, például gabonafélékben, kávéban, kakaóban, diófélékben, sörben, de megtalálható borokban, gyógynövényekben, szőlőben és mazsolában, almában, szederben, cseresznyében, paradicsomban, eperben, szilvában és őszibarackban is. Az ochratoxin A-t az *A. niger* termeli az olajbogyóban. Különös figyelmet kell fordítani a szárított füge tartalmára is (Enikova és mtsai. 2020).

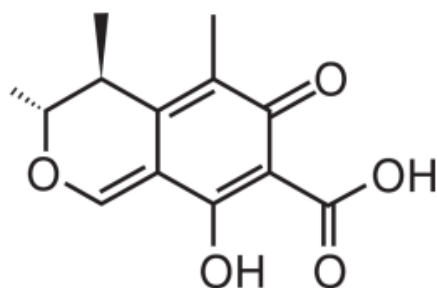


3. ábra. Az ochratoxin A kémiai szerkezete (Enikova és mtsai. 2020)

Az *Aspergillus* nemzetség számos olyan fajt tartalmaz, amelyek citrinin-termelők: *A. candidus*, *A. carneus*, *A. terreus* és *A. flavipes*. Az *A. terreus* olyan gyümölcsökben patogén, mint az alma, az őszibarack, a szőlő, a dinnye és a paradicsom. Citrinint termelnek a *Penicillium* nemzetség egyes fajai (*P. citrinum*, *P. viridicatum*, *P. expansum*, *P. lividum*, *P. allenutatum*, *P. implicatum* stb.) és a *Monascus* nemzetség egyes fajai is (4. ábra).

A mikotoxin bioszintézise vegyes gombafertőzés eredménye. A citrinin emberekben és állatokban betegségeket okoz, és ismert a vese, a máj és az immunrendszer számára kifejtett toxicitása. Egyes növényekre nézve fitotoxikus is (Enikova és mtsai. 2020).

Az *Alternaria* nemzetséghez tartozó mikroszkopikus gombák nagyon gyakori résztvevői a betakarítás utáni termésromlásnak. Fejlődésük során olyan mérgező anyagokat termelnek, mint az alternariol, tenuazonsav, arter nariol-metilészter, alterotoxin stb. Toxigén hatásúak az *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. arborescens*, *A. citri*, *A. solani*, *A. longipes*, *A. infectoria* és mások (Enikova és mtsai. 2020).



4. ábra. A citrinin kémiai szerkezete (Enikova és mtsai., 2020)

1.1.2. Mikotoxinok előfordulása fűszerekben

A fűszereket és gyógynövényeket jellegzetes ízük, színük és aromájuk miatt értékelik, és világszerte a legsokoldalúbb és legszélesebb körben használt összetevők közé tartoznak az ételkészítés- és feldolgozás során (Toma és Abdulla, 2013). Széles körben használják őket gyógyszerkészítmények (galenikus termékek) alapanyagaként és diétás termékek kiegészítőjeként, különösen a lakossági "öngyógyításban" (Toma és Abdulla, 2013).

Sok más mezőgazdasági termékhez hasonlóan a fűszerek és gyógynövények is sokféle mikrobiális szennyeződésnek lehetnek kitéve a betakarítás előtti és utáni időszakban. Bár a fűszerek kis mennyiségben vannak jelen az élelmiszerekben, a mikrobiális szennyeződés fontos hordozóiként ismerik el őket, főként a termesztés, betakarítás és feldolgozás körülményei miatt. Ezenkívül a higiénia vagy a feldolgozás során elkövetett esetleges mulasztások miatt a fűszereket tartalmazó élelmiszerek nagyobb valószínűséggel romlanak meg, és káros hatásokat is kifejthetnek, szem előtt tartva az egyes gombafajok által termelt mikotoxinokkal kapcsolatos egészségügyi kockázatokat (Toma és Abdulla, 2013). Ráadásul a fűszereket a trópusi területeken egyszerű módszerekkel gyűjtik, és általában sok szennyeződésnek vannak kitéve, mielőtt elég szárazak lennének ahhoz, hogy megakadályozzák a mikrobák szaporodását (Toma és Abdulla, 2013).

A mikroszkopikus gombák a fűszerek fő szennyezői, de a legtöbb ilyen mikrobiális populáció valószínűleg a növényen élő, a szárítást és tárolást túlélő kommenszális lakóknak tekinthető. A talaj és a levegő a fő inokulumforrás, amely a nyers fűszernövényen a szántóföldön szennyeződést okoz (Toma és Abdulla, 2013). Számos fűszer mikrobiótáját általában aerob spóráképző mikroorganizmusok uralják. Mikrobiológiai vizsgálatok alapján a zeller, a paprika, a

fekete és fehér bors és a gyömbér általában milliós grammonkénti összcsiraszámot mutat (Toma és Abdulla, 2013). A fűszerek általában erősen szennyezettek xerofil raktári (tárolási környezetben előforduló) penészgombákkal és baktériumokkal (Toma és Abdulla, 2013).

Az aflatoxinok, az ochratoxin és a sterigmatocisztin hővel szemben ellenállónak bizonyultak, és képesek felhalmozódni a szervezetben. A fűszerekből gyakran izolálnak más penészgombafajokat is, köztük a *Penicillium*, *Scopulariopsis* és *Sporendonema* fajokat (Galvano és mtsai. 2005; Zinedine és mtsai., 2006).

1.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatása a mikroszkopikus penészgombákra

1.2.1. Illóolajok

A természetes jellegű termékek közül a magasabb rendű növények illóolajai (EO) és összetevőik egyre nagyobb érdeklődést jelentenek élelmiszer-adalékanyagként, és a fogyasztók széles körben elfogadják őket viszonylag nagy illékonyáguk, és biológiailag lebomló természetük miatt. Az EO-kat több mint 17 000 aromás növényfaj termeli, amelyek általában a *Lamiaceae*, *Rutaceae*, *Myrtaceae*, *Zingiberaceae* és *Asteraceae* családokba tartoznak (Regnault-Roger és mtsai. 2012).

Az illóolajok olyan másodlagos metabolitok, amelyek fontos ökológiai szerepet játszanak a növényvédelemben, közvetítik a növény és az abiotikus (fény, hőmérséklet, O₂, CO₂, O₃ stb.), valamint a biotikus tényezők (konkurens szervezetek, károsító kórokozók és hasznos állatok) közötti kapcsolatot. A bioszintézis különböző növényi szervekben, például levelekben, kéregben, virágokban, rügyekben, magokban, hajtásokban, gyümölcsökben, rizómákban és gyökerekben történhet (Najafabadi és mtsai. 2017; Dhakad és mtsai., 2018; Cascaes és mtsai., 2021). A szintézis, felhalmozás és tárolás történhet szekréciós mirigyekben, amelyek elhelyezkedhetnek: a növények felszínén, így exogén szekrécióval rendelkeznek; vagy a szervek belsejében, endogén szekrécióval fordulnak elő (de Oliveira, 2022).

Az illóolajok különböző összetevők, például fenil-propanoidok, észterek, homo-, mono-, szeszkvi-, di-, tri- és tetraterpének komplex keverékei. Terápiás felhasználásuk a rák, a cukorbetegség, valamint a szív- és érrendszeri, neurológiai betegségek kezeléséhez kapcsolódik, emellett öregedésgátló, antioxidáns és antimikrobiális hatásuk is van (Saljoughian és mtsai.

2017; Benny és Thomas, 2018; Bezerra és mtsai., 2020). Az illóolajok farmakológiai hatásában szerepet játszó mechanizmusok komplexek a széleskörű és változatos összetételük miatt.

Az illóolajokat kiegészítő terápiaként használják a szorongás, a fájdalom, a bipoláris zavar, a figyelemhiányos hiperaktivitási zavar és a depresszió kezelésében szájon át történő beadással, inhalálással, fürdőkben alkalmazva és egyéb felhasználási módokon (de Oliveira, 2022).

1.2.2. Az illóolajok kémiai összetevői

Az illóolajok olyan növényi anyagokból nyert illatanyagok, amelyeket a botanikusok már azonosítottak. Ezeket az összetett, illékony vegyületekkel teli keverékeket a növények különböző részeiben bioszintetizálják, és hagyományos technikákkal, például hidrodessztillációval, vízgőzdesztillációval és hidegsajtoltással, valamint olyan innovatív módszerekkel nyerhetők ki, amelyek növelik az extrakció hatékonyságát, akár az extrakciós idő tekintetében, akár a jobb minőségű kivonatok előállítására érdekében (Asbahani és mtsai. 2015).

Az EO-k változó hozammal nyerhetők ki (mennyiségben, minőségben és összetételben). Az éghajlati tényezők, a növényi anyag kora, a talaj összetétele, a vegetatív ciklus szakasza és az évnek az az időpontja, amikor az anyagot gyűjtötték, szintén befolyásolhatják az EO-k hozamát. Emellett egy vagy több komponens magas (20% és 70% közötti) százalékban vagy nyomokban is megtalálható (Akthar és mtsai. 2014).

Az EO-k sokféleségének példaként kiemelhetjük az 1,8-cineolt, amely nagy mennyiségben van jelen az *Eucalyptus globulus* (eukaliptusz) olajában, amely annak fő alkotóeleme; ellentétben a *Coriandrum sativum* (koriander) olajával, amelynek fő összetevője a linalool (de Oliveira, 2022).

Továbbá gyakori a kemotípusok előfordulása, mivel ugyanaz a növényfaj eltérő kémiai jellemzőkkel rendelkezhet attól függően, hogy hol termesztették. Erre példa a *Thymus vulgaris* (kakukkfű), amelynek kemotípusai a fő vegyületeihez kapcsolódnak, mint például a timol, a karvakrol, a terpineol és a linalool (Regnault-Roger és mtsai. 2012).

Az illékonyosság a fő különbség az EO-k és a magvakból nyert rögzített olajok (lipidkeverékek) között. Ezenkívül az EO-k kellemes és intenzív aromákat is hordoznak, ami miatt néha esszenciáknak is nevezik őket. Ezek a jellemzők fő alkotóelemeiknek, a terpéneknek és terpenoidoknak köszönhetőek, amelyek különböző bioszintetikus útvonalakon keletkeznek. A

terpének az EO-k fő csoportját alkotják, és láncuk több izoprén egység (C_5) egymás utáni egymás mellé helyezésével jönnek létre, amelyekből más terpének, például monoterpének (C_{10}), szeszkviterpének (C_{15}) és diterpének (C_{20}) származnak. Másrészt a terpenoidok, mint például az alkoholok, észterek, ketonok, olyan terpének, amelyek oxigént és sokféle szerves funkciót tartalmaznak (Baptista-Silva és mtsai. 2020).

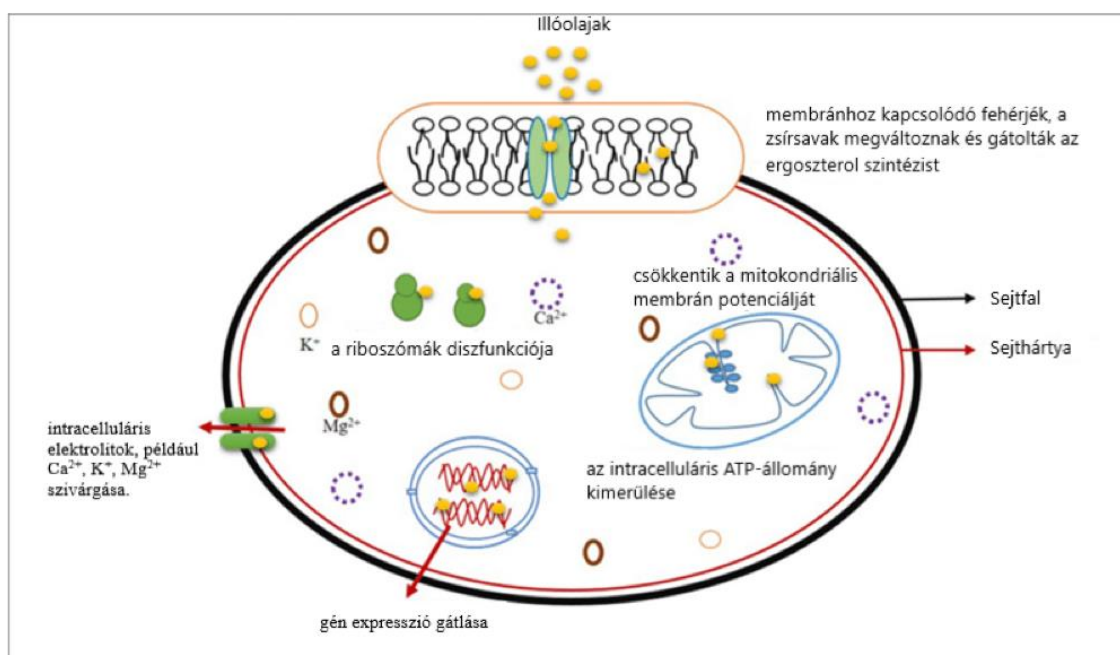
1.2.3. Illóolajok antimikrobiális hatása a mikroszkopikus penészgombákra

Az illóolajokat és alkotóelemeiket a patogén gombák széles köre ellen használták. Számos növény, például a bazsalikom, citrusfélék, édeskömény, citromfű, oregánó, rozmaring és kakukkfű illóolaj-kivonatai jelentős gombaellenes aktivitást mutattak a gombás kórokozók széles skálájával szemben (Fu és mtsai. 2007).

A baktériumokhoz képest a gombák sejtfalai vastagabbak. Az illóolajok gombák elleni gátlási mechanizmusa általában több célpont szinergikus hatása (Li és mtsai. 2018; Cortés és mtsai. 2019). Jelenleg főként négyféleképpen lehet beszélni az illóolajok gombaellenes mechanizmusáról:

- Az illóolajok és aktív összetevőik megváltoztathatják a mikroorganizmusok morfológiáját.
- Az ergol szintézisének gátlása.
- A trikarbonsavciklus útjának és az energiaanyagcserének a gátlása.
- A genetikai anyag replikációjának és a mikrobiális szaporodásnak a megakadályozása.

Az illóolajok inaktiválhatják a genetikai anyagot, DNS-károsodást vagy genetikai kodonváltozásokat okozva. Kapcsolódó tanulmányok szerint arról számoltak be, hogy a polifenolok lebonthatják a plazmid DNS-t (Brudzynski és mtsai. 2012; de Oliveira, 2022) (5. ábra).



5. ábra. A gombaölő hatásmechanizmusok lehetséges célpontjai (Maurya és mtsai. 2021, saját fordítás)

Ju és mtsai. (2020) megállapították, hogy az eugenol és a citrál kombinációja jelentősen lebontja a *Penicillium roqueforti* és az *Aspergillus niger* sejtfalát (Ju és mtsai., 2022). Emellett Sun és mtsai. (2020) azt is megerősítették, hogy a fahéjaldehid károsíthatja az *Aspergillus niger* sejtmembránjának integritását és intracelluláris ultrastruktúráját (Sun és mtsai. 2020).

Elgayyar és mtsai. (2001) úgy találták, hogy a rozmaring illóolaj nem volt gátló hatású a *Listeria monocytogenes*, az *Aspergillus niger* vagy a *Rhodotorula* ellen, és csak gyengén gátolta a *Pseudomonas* aktivitását (Elgayyar és mtsai., 2021).

Souza és mtsai. (2005) kutatásai alapján különösen a *Lippia alba* (Verbenaceae család) illóolaj volt képes 4,0%-os koncentrációig penészgomba-ellenes hatást kifejteni az *Aspergillus niger*-re. A *Citrus limon* illóolaj (Rutaceae család) gátló hatást mutatott az *Aspergillus flavus*, a *Fusarium* spp. és az *Aspergillus niger* ellen. A *Peumus boldus* illóolaj aktív volt az *Aspergillus niger*, az *A. flavus* és *Fusarium* spp. ellen. Az eugenol 2,0%-os MIC (Minimális Gátlási Koncentráció) értéket mutatott az *A. flavus* esetében 4,0%-os MIC értéket a *Penicillium* spp. a *Fusarium* spp. és a *Rhizopus* spp. penészgombák vizsgálata során (Souza és mtsai. 2005).

Válková és mtsai (2021) kimutatták, hogy a menta illóolaj (minden koncentrációban) képes volt teljesen gátolni a *Penicillium expansum* és a *Penicillium crustosum* növekedését. A

rozmarying illóolaj mutatta a legalacsonyabb gátlást a *Penicillium citrinum* esetében, míg a menta a legmagasabbat *Penicillium crustosum* esetében (Valková és mtsai., 2021).

Az illóolajok jelentős gátló hatást fejtenek ki a mikroorganizmusokkal szemben, míg fő összetevőik különböző mértékű növekedési gátlást mutatnak. Ezek a gátló hatások számos élelmiszerben a mikotoxinszennyezés megelőzése szempontjából értékesek, és a szintetikus gombaölő szerek helyett is felhasználhatók lehetnek (Ferdeş és Ungureanu 2012).

1.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatása

A közelmúltban a természetes összetevőket tartalmazó alternatívák, mint például a növényi illóolajok ígéretes védelmet nyújtanak egyes növényi betegségekkel szemben és csírázást gátló hatással is rendelkeznek, mivel gyakorlatilag bioaktív vegyi anyagok, például fenolok, flavonoidok, kinonok, tanninok, alkaloidok, szaponinok, szterolok, terpének, aromák és aldehidek gazdag forrását képezik (Tesio és mtsai. 2011).

Ezenkívül ezek a természetes alternatívák a tárolás során is képesek fenntartani a gumók biokémiai összetevőit, biológiailag nem toxikus termékekre bomlanak le, és potenciálisan alkalmasak az integrált növényvédelmi programokban való felhasználásra (El-Awady, 2019).

A közelmúltban több növény illóolaját és azok összetevőit vizsgálták csírázásgátló hatásuk miatt több növény magjaival szemben; ez fontos lehet az ökológiai kölcsönhatások mechanizmusainak megértésében, de a kivonatok vagy tiszta vegyületek azonosításában is, amelyekből alacsony vagy semmilyen környezeti hatással nem járó termékek készíthetők mezőgazdasági felhasználásra (Ricci és mtsai. 2017).

1.3.1. Illóolajok csírázásgátló hatása a burgonyánál

A burgonya (*Solanum tuberosum* L.) a világ legfontosabb nem gabonafélékből álló alapnövénye, amely nagyban hozzájárul az élelmezésbiztonság javításához és az éhezés csökkentéséhez.

A gumók tárolás közbeni légzése és a tárolás alatti nyugalmi állapot felbomlása csírázáshoz és a gumók tápértékének elvesztéséhez vezet. A csírázás csökkenti a gumók tömegét, tápérték és feldolgozási minőségét, valamint a piacképes burgonya mennyiségét, ami a

burgonya tárolása során jelentős gazdasági veszteségekért felelős. A tárolás során történő csírázás szabályozására különböző módszerek állnak rendelkezésre (El-Awady Aml és mtsai. 2014).

Számos szintetikus vegyi anyagot használnak a burgonya csírázásának elnyomására, beleértve a betakarítás utáni csírázásgátlókat, mint az izopropil-N-(3-klórfenil)karbamát (klórprofám vagy CIPC), az 1,4-dimetil-naftalin (1,4-DMN), a 2,6-diizopropil-naftalin (2,6-DIPN) és a $C_{10}H_{18}O$, valamint a betakarítás előtti csírázásgátlót, a malein-hidrazidot (Thoma és Zheljazkov, 2022).

A CIPC a sejtosztódás megzavarásával gátolja a csírázás kialakulását, ezért sürgősen szükség volt más, környezetileg elfogadhatóbb csírázásgátló szerek keresésére a gumók számára.

Napjainkban nagyon fontos a természetes vegyületek, például az illóolajok, valamint az illóolajokból származó tiszta vegyületek használata (El-Awady Aml és mtsai. 2014).

Az EO-k használata a burgonyacsíra elfojtásában nem új keletű, és világszerte számos kereskedelmi termék áll rendelkezésre. Mivel azonban a burgonya tárolási körülményei a burgonya végső piaci felhasználásától függően változnak, az EO-k hatékonysága az adott hőmérséklettől és alkalmazási sémáktól függ, használatuk gyakran nem általánosítható minden burgonyatárolási körülményre (Thoma és Zheljazkov, 2022).

Finger és mtsai (2018) szerint az olyan csírázást gátló vegyületek, mint az eugenol és a mentol, csökkentik a csírázó rügyek számát és hosszát a hűtött tárolás során, a felületes merisztematikus sejtek nekrozisát előidézve. Az illóolajok rügynövekedést gátló hatása a kezelés után idővel csökken. Az olajok megtörik az apikális dominanciát és axilláris rügyfakadást indukálnak.

Visse-Mansiaux és mtsai (2021) vizsgálatai kimutatták, hogy az L-karvon (*Mentha spicata*) és a D-limonén (*Citrus sinensis*) molekulák három és öt hónapos tárolás után is jól kontrollálják a csírázást a kezeletlen kontrollhoz képest, ugyanolyan hatékonysággal.

Thoma és Zheljazkov (2022) szerint a menta (*Mentha piperita*) illóolajával kezelt burgonyák 4,5 °C tárolási hőmérsékleten 9 hónapig csíramentesek voltak. A kömény (*Carum*) illóolajjal kezelt burgonyák 5,7 °C hőmérsékleten 274 napig gátolták a csírázást. A szegfűszeg (*Syzygium aromaticum*) illóolajával kezelt burgonyák esetében 60 nap után jelentek meg a csírahajtások. A kapor (*Anethum graveolens*) illóolajjal kezelték 10 °C-on 15 hétig bírták csírázás nélkül.

Az illóolajoknak a burgonyatermesztésben és tárolásban történő felhasználásával nem csak a hosszabb tárolási idő, hanem a magasabb termés hozam is elérhető. Az általánosan biztonságosnak tekintett illóolajok csábító alternatívát kínálnak a használt kémiai növekedésszabályozók és növényvédő szerek, például a CIPC csírázásgátlásához. Az ilyen alternatívák csökkentenék a munkavállalók mérgező vegyi anyagoknak való kitettségét, kiküszöbölnék a burgonyában lévő mérgező maradványokat, és így jelentősen hozzájárulhatnak a fogyasztók egészségének javulásához.

1.4. Az okos (aktív és intelligens) csomagolások típusai és jelentőségük

Az élelmiszerek csomagolása a biztonságos fogyasztás egyik legfontosabb kritériuma. A csomagolások képesek fenntartani a termékek minőségét, segítik a szállítást, megakadályozzák a termékvesztést, lehetővé teszik a biztonságos tárolást valamint a csomagolást tekinthetjük a termékreklámozás egyik formájának is (Steenis és mtsai. 2017).

A hagyományos élelmiszercsomagolás egy olyan inert rendszer, mely elsősorban fizikai védelmet és támogatást nyújt az élelmiszereknek az ingerek és a külső környezeti hatásokkal szemben. A csomagolás feladata, hogy megvédje a terméket a szállítás, tárolás és forgalmazás során (Robertson, 2016).

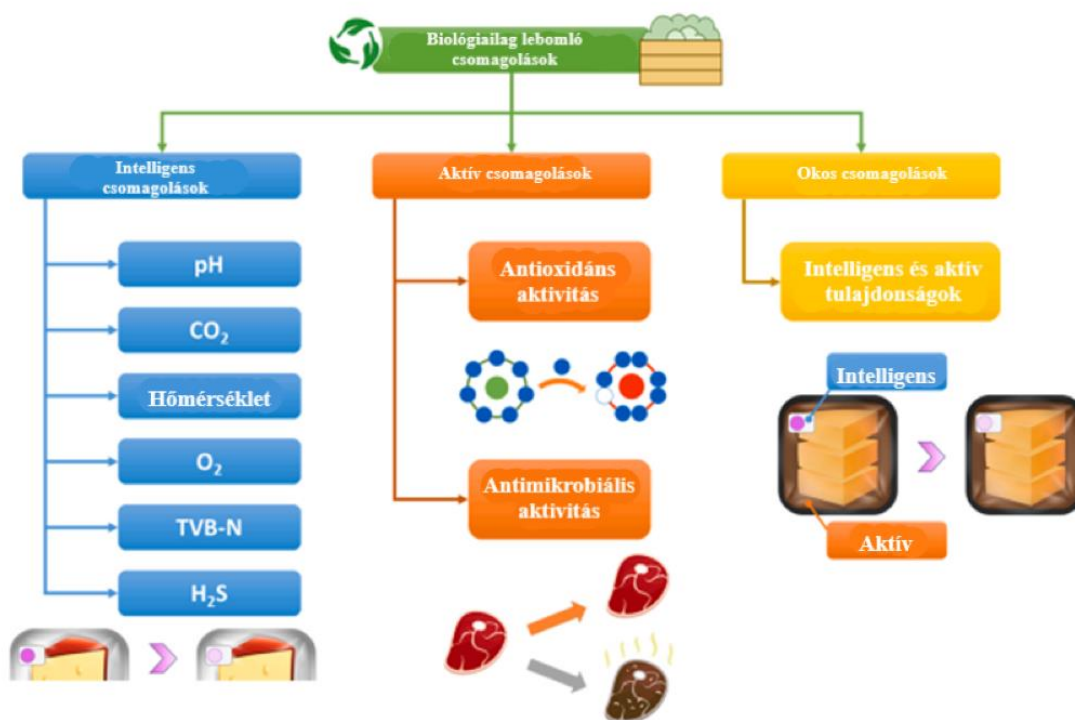
A csomagolásokon lévő információk közlése fontos a benne található élelmiszerről, valamint annak tápanyagtartalmáról, például a fogyasztónak tudnia kell, hogy a csomagolásban tárolt élelmiszer mikrohullámú sütőben történő újramelegítése lehetséges vagy nem (Schaefer és Cheung, 2018).

A legalapvetőbb funkció a tárolás, a termékvesztés elkerülésére, és a szállítás során fenálló szennyeződés megelőzésére (Robertson, 2016; Lloyd és mtsai., 2019).

A hagyományos csomagolástervezés kiterjesztése az okos élelmiszercsomagolás. Azon kívül, hogy teljesíti az alapvető csomagolási előírásokat és funkciókat (védelem, kényelem, kommunikáció és tárolás) funkcionális a fizikai, környezeti és emberi szférában. Néhány szakértő előrejelzése szerint az intelligens csomagolások lesznek a jövő megoldása az élelmiszercsomagolást tekintve (Aday és Yener, 2015; Realini és Marcos, 2014).

Az okos csomagolások célja a biztonsági kockázatok csökkentése, az élelmiszerekkel és környezettel való tudatos kölcsönhatás révén. A hagyományos csomagolással szemben az új csomagolási forma olyan tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek kiemelik az egyedi

tulajdonságokat, illetve biztosítják a termék hitelességét, megkülönböztetését (Barska és Wyrwa, 2016; Restuccia és mtsai. 2010). Az okos csomagolás alatt kétféle élelmiszer-csomagolási technológiát értünk; az aktív és az intelligens csomagolást (6. ábra) (Lloyd és mtsai. 2019).

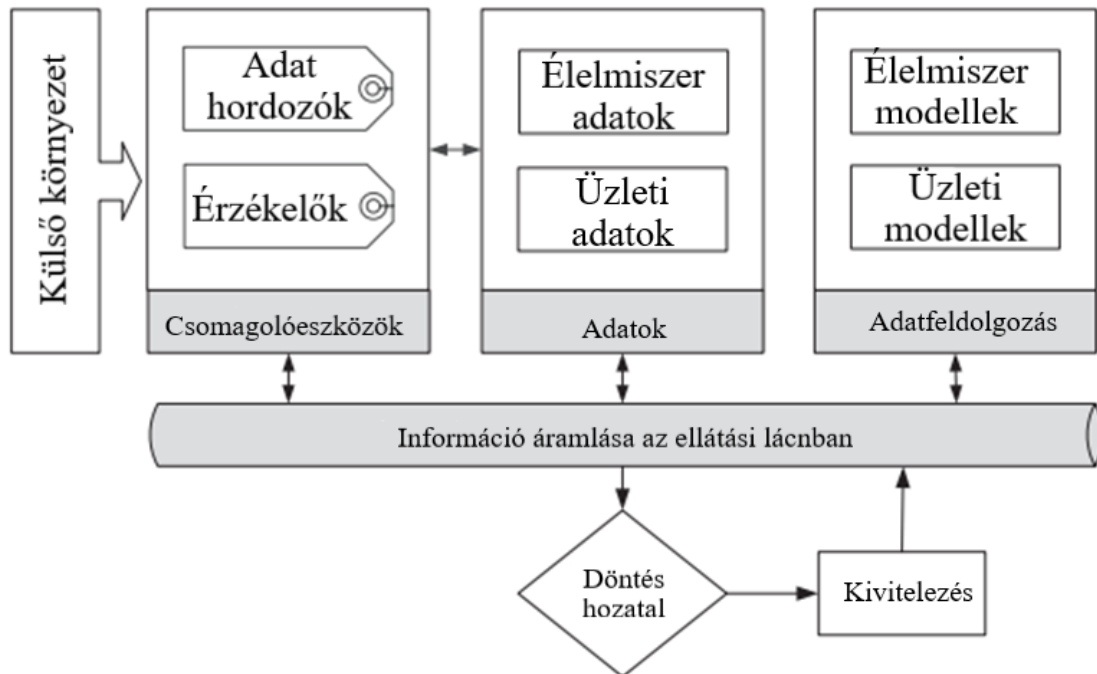


6. ábra. Különböző rendszerek a biológiailag lebomló csomagoláshoz (Amin és mtsai. 2022, saját fordítás)

Az okos csomagolóeszközöket és a döntéstámogató rendszert úgy tervezték, hogy együttműködve figyeljék a belső és külső környezet változásait, és közölik az élelmiszertermék állapotát, hogy időben lehessen döntéseket hozni és megfelelő intézkedéseket tenni. Minőségi és biztonsági szempontból a külső környezetet fizikai és emberi környezetre lehet osztani, amelyek az eltarthatósági idő meghatározásában fontos tényezők. Ugyanakkor az üzleti környezet is fontos tényező; valójában az okos csomagolóeszközök (különösen az adathordozók) és az információs áramlók fejlesztését nagyrészt a nyereség vagy a működési hatékonyság növelésének vágya motiválja.

Jelenleg az üzleti adatok (például a termék azonosítása, mennyisége és ára) és az üzleti modellek (az információk feldolgozására vonatkozó szabályok a nyereség maximalizálása érdekében) beépülnek a rendszerbe, hogy megkönnyítsék a termékellenőrzést, a

készletellenőrzést és a termék nyomon követhetőségét. Érdekes megjegyezni, hogy alig egy évtizeddel ezelőtt az okos csomagolás nem volt vonzó koncepció, mivel a csomagolóeszközök és a számítógépes hálózatok meglehetősen korlátozottak és drágák voltak (7. ábra) (Yam 2012).



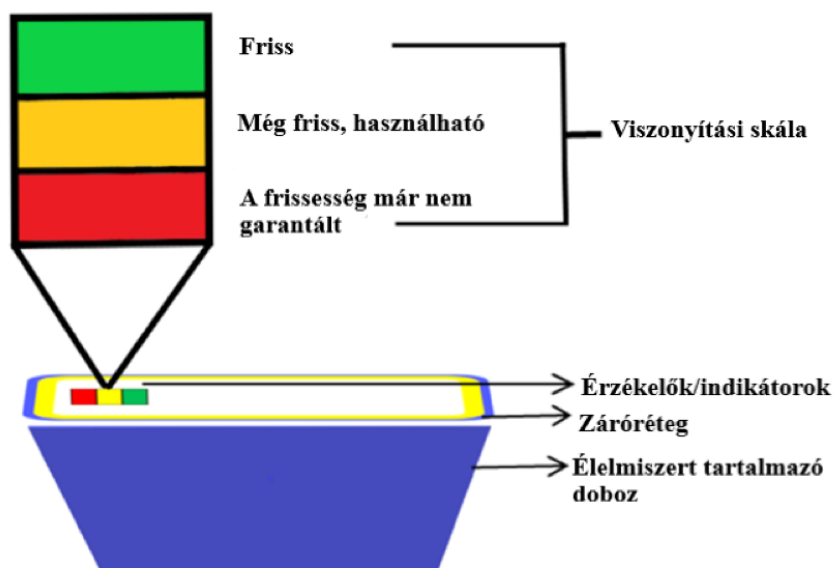
7. ábra. Az okos csomagolási rendszer koncepcionális kerete (Yam, 2012, saját fordítás)

1.4.1. Biológiailag lebomló intelligens csomagolás

A csomagolt élelmiszerek a tárolás során számos változáson mennek keresztül (ami a minőségromlásukat tükrözi), ami a csomagolási környezet összetételének megváltozását eredményezi. Ezek közé tartozik a pH, a gázösszetétel és a kémiai, mikrobiális romlásból származó vegyületek, mint például aminok, ammónia, H₂S stb. keletkezése. E kulcsfontosságú vegyületek jelenlétének kimutatása és jelzése érdekében a csomagolóanyagok gyártása során intelligens vegyületeket (olyan anyagokat, amelyek érzékenyek egy adott vegyület vagy vegyületcsoport jelenlétére) adnak a biopolimerekhez. Például számos természetes színezékről számoltak be, amelyek a csomagolási környezet változásaira reagálva változtatják színüket. A színváltozás a fogyasztó számára könnyen érzékelhető, és jelzi a csomagolt termék fogyasztásra való alkalmasságát (Amin és mtsai. 2022).

Az intelligens csomagolási eszközöknek két alapvető típusa van: az adathordozók (például vonalkódcímkék és rádiófrekvenciás azonosítás (RFID-címkék)), amelyek az adatok

tárolására és továbbítására szolgálnak, valamint a csomagolási jelzők (például idő-hőmérsékletjelzők, gázjelzők, bioszenzorok), amelyek a külső környezet megfigyelésére és adott esetben figyelmeztetésre szolgálnak. Amint az a 8. ábrán látható, ezek az eszközök kommunikációs csatornát biztosítanak a külső környezet és a rendszer többi összetevője között (8. ábra) (Yam 2012).



8. ábra. Az intelligens csomagolás mechanizmusa (Vasuki és mtsai., 2023, saját fordítás)

Fontosabb jelzők és érzékelők az intelligens csomagolásban:

- **pH alapú frissességjelzők:** A légzés és a mikrobák növekedése a tárolás során megváltoztatja számos élelmiszertermék, például gyümölcsök, zöldségek, húsok és tejtermékek pH-értékét. Ezen élelmiszerek minőségének nyomon követése érdekében a pH-változás nyomon követhető a pH-érzékeny vegyületek (antociánok) élelmiszercsomagoló anyagokba történő beépítésével. Ezek a vegyületek kémiai-strukturális változásokon mennek keresztül, amelyek színváltozást eredményeznek (Amin és mtsai. 2022).
- **CO₂ határérték érzékelők:** Egyes élelmiszerek (például gyümölcsök, zöldségek és húskészítmények) mikrobiális romlása a CO₂ termelését és folyamatos felhalmozódását eredményezi a csomagolási környezetben (Kimbuathong és mtsai. 2020). Ebben az értelemben egyes tanulmányok olyan biológiailag lebomló fóliák és bevonatok (etil-

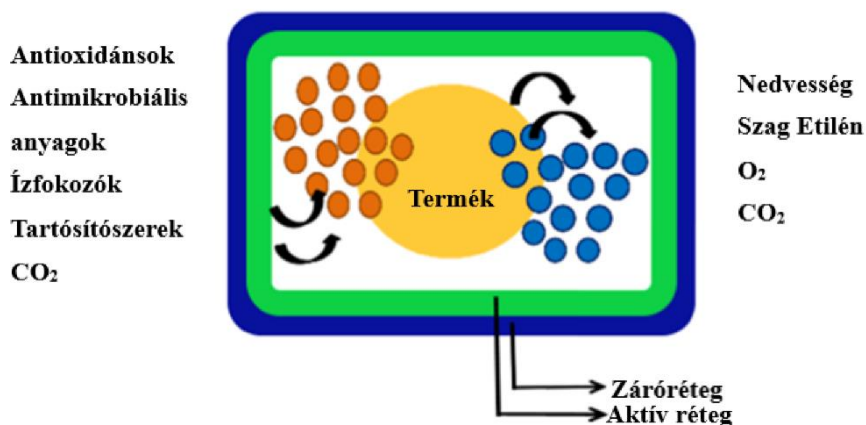
cellulóz filmcímke vizes indikátorral) kifejlesztéséről számoltak be, amelyek képesek a csomagoláson belüli CO₂-tartalom nyomon követésére (Amin és mtsai. 2022).

- **Hőmérsékletjelzők:** A tárolás, a szállítás és a kiskereskedelem során a hőmérséklet nyomon követése az élelmiszerbiztonság és -minőség fontos szempontjává vált. Ebben az értelemben Maciel és mtsai (2012) biológiailag lebomló hőmérsékletérzékeny fóliákat fejlesztettek ki kitozánban lévő antociánok felhasználásával. A szerzők a fóliákat 20, 40 és 60 °C hőmérsékletnek tették ki 72 órán keresztül. 40 °C-os expozíció után visszafordíthatatlan változását figyelték meg világos ibolyaszínről világossárgára (Maciel és mtsai., 2012).
- **O₂ jelenlétének jelzői:** Az oxigén jelenléte az élelmiszercsomagolásban serkenti a fizikai-kémiai változásokat, az anyagcsere- és mikrobiális tevékenységeket, amelyek a feldolgozott és feldolgozatlan élelmiszerek színében, ízében és szagában érzékelhetők. Ezen változások elkerülése érdekében a csomagolási légkörben csökkentik az oxigén koncentrációját. Az oxigén azonban áthatolhat a csomagolórétegen, és a fent említett hatásokat okozhatja. Deshwal és munkatársai (2018) egy ultraibolya fénnel aktivált oxigénérzékeny film (nátrium-alginát, nátrium-kazeinát és karragén) kifejlesztését vizsgálták, amelybe metil-kék indikátort építettek be. A filmeket 1-10% közötti oxigénszintnek tették ki, és minden oxigénkoncentrációnál egyformán érzékenynek találták (Deshwal és mtsai. 2018).
- **Összes illékony bázikus nitrogénjelzők:** Az összes illékony bázikus nitrogén az illékony aminokra (például trimetil-amin, dimetil-amin és ammónia) utal, amelyeket a halak és tenger gyümölcsei eltarthatóságának ellenőrzésére használnak. Ezen tartalom monitorozására biológiailag lebomló tarajgumi és polivinil-alkohol (PVOH) alapú filmeket fejlesztettek ki kurkumin, mint érzékelő anyag felhasználásával később a fenolos oxigén-anion képződése megváltoztatta a filmek színét (sárgáról narancssárgára) (Ma és mtsai. 2017).
- **Kén-hidrogén indikátorok:** A hús és a húskészítmények hajlamosak a mikrobiális bomlásra, amely kén-hidrogén (H₂S) termelődését eredményezi. A H₂S jelenléte összefüggésbe hozható a hús és a húskészítmények minőségével és eltarthatóságával (Amin és mtsai. 2022). Zhai és mtsai. (2019) ezüst (Ag) nanorészecskékkal bevont guargumi alapú filmeket készítettek, és arról számoltak be, hogy a filmek 0,81 µmol H₂S határértékig képesek kimutatni a H₂S-t. Az Ag és a H₂S közötti reakció Ag₂S képződését

eredményezte, amely látható színváltozást okozott sárgáról színtelenre (Zhai és mtsai., 2019).

1.4.2. Biológiai lebomló aktív csomagolás

Az élelmiszer csomagolásokat olyan aktív anyagokkal lehet előállítani, amelyek folyamatosan gázokat vagy összetevőket bocsátanak ki és/vagy elnyelnek, és meghosszabbítják az élelmiszertermékek eltarthatósági idejét. Az aktív csomagolásokat vándorló és nem vándorló anyagokra osztották. A vándorló aktív csomagolásoknál az aktív anyagok gyakran szabadulnak fel az élelmiszer csomagolásban. Másrészt a nem vándorló csomagolás esetében az aktív komponensek beépítve lehetnek a csomagoláson (9. ábra) (Amin és mtsai. 2022).



9. ábra. Az aktív csomagolás mechanizmusa (Vasuki és mtsai. 2023)

Fontosabb aktív csomagolásban résztvevő összetevők:

- **Antioxidánsok és antimikrobiális, biológiai lebomló filmek:** Az élelmiszerek általában hajlamosak a biológiai lebomlásra, például az enzimatis barnulásra (kertészeti növények) és az oxidatív avasodásra (zsíralapú élelmiszerek, például húskészítmények). A természetes antioxidánsokat kereskedelmi csomagolóanyagokban tanulmányozták a minőségromlás késleltetése és az élelmiszerek eltarthatósági idejének meghosszabbítása érdekében (például a szín megőrzése és az íztelenség kialakulásának gátlása) (Amin és mtsai. 2022).
- **Növényi kivonatok:** Wu és mtsai. (2019) a teakivonatból származó polifenolokat különböző koncentrációkban (5%, 10%, 15% és 20%) használta a pomelo héjpor felhasználásával készült filmek kifejlesztéséhez. A tea polifenolok növekvő

koncentrációja javította a filmek antioxidáns, valamint antimikrobiális potenciálját az *Escherichia coli* és a *Staphylococcus aureus* ellen (H. Wu és mtsai., 2019).

- **Szerves savak:** A szerves savak csökkentik a sejtek belső pH-értékét, ionizálják a nem disszociált savmolekulákat és megváltoztatják a sejtmembrán áteresztőképességét (Amin és mtsai. 2022). Wu és mtsai. (2017) citromsavat használtak polivinil-alkohol és keményítő alapú fóliákban. Erős gátló hatásról számoltak be a *Listeria monocytogenes* és az *Escherichia coli* élelmiszerrel terjedő kórokozókkal szemben (Wu és mtsai., 2017).
- **Fém nanorészecskék:** Számos fémes nanorészecskét használnak a biológiailag lebomló aktív csomagolási alkalmazásokban UV-fénygátlóként és legfőképpen antimikrobiális hatóanyagként (Kumar és mtsai. 2020). Például cink-oxid, TiO_2 , réz és ezüst nanorészecskékről számoltak be a szakirodalomban, és nagyon hatásosnak találták őket a *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas* spp., *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *Cryptococcus* és *Candida* ellen (Amin és mtsai. 2022).

Az okos, aktív és intelligens filmek, csomagolások folyamatos fejlesztése a biológiailag lebomló anyagok felhasználásával szükséges lépés az élelmiszercsomagolással kapcsolatos környezeti hatások csökkentése érdekében.

1.5. A növényi illóolajok és kivonatok felhasználási lehetőségei az okos csomagolások területén

Az EO-k a növényekben jelen lévő másodlagos anyagcseretermékek, amelyeket jelenleg arra használnak, hogy antimikrobiális és antioxidáns tulajdonságokat kölcsönözzenek az élelmiszer-alapanyagoknak. Az illóolajok antimikrobiális hatását számos vegyület jelenlétének és hidrofób természetüknek tulajdonítják (Amin és mtsai. 2022).

Jelenleg az EO-k aktív élelmiszercsomagolásban való alkalmazása szorosan kapcsolódik a biológiailag lebomló filmekbe való beépítésükhöz, egy másik poliszacharid-fehérje vagy lipid alapú ehető fóliával kombinálva. Egy másik új megközelítés a kompozit vagy többkomponensű filmek kifejlesztése, hogy kihasználják fő előnyös tulajdonságaikat (Carpena és mtsai. 2021).

Beyki és mtsai. (2014) tanulmányának a célja egy nanogél előállítása volt a CS-ben ((1-4)-2-amino-2-deoxi-2-d-glükán) jelen lévő aminocsoport és a Ci ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH=CH-CO}_2\text{H}$)

karboxilcsoportja közötti kötések kialakításával. A CS-Ci nanogélt ezután hidrofób menta (*Mentha piperita*) illóolajok kapszulázására használták (Beyki és mtsai. 2014).

Szintén Beyki és mtsai (2014) tanulmánya célja a CS (koffeinsav) és CA (3,4-dihidroxi-fahéjsav; $C_9H_8O_4$) nanogéllal kapszulázott rómaikömény (*Cuminum cyminum*) illóolajok gombaellenes aktivitásának vizsgálata volt. Mindkét esetben azt találták, hogy teljes gátlás történt az *Aspergillus flavus* esetében (Beyki et al., 2014).

Jamróz és munkatársai (2018) a levendula illóolajok koncentrációjának hatását vizsgálták a keményítőből, furcellarából és zselatinból készült biológiailag lebomló filmek tulajdonságaira. A szerzők az antioxidáns aktivitás és a gátlási zóna növekedéséről számoltak be (növekvő koncentrációval) Gram-negatív (*Escherichia coli*) és Gram-pozitív (*Staphylococcus aureus*) baktériumokkal szemben (Jamróz és mtsai. 2018).

Ezati és Rhim (2019) kurkumin és kén nanorészecskék hozzáadásával pektin alapú intelligens, funkcionális kompozit filmeket fejlesztett ki. Megfigyelték, hogy a filmek mechanikai, hő- és vízgőzgátló tulajdonságait nem befolyásolta érdemben a kurkumin hozzáadása. A kompozitfilm javított UV-fényzáró tulajdonságot mutatott anélkül, hogy a film átlátszósága jelentősen csökkent volna. Megállapították, hogy a kurkumin hozzáadásával készült fólia fokozott antimikrobiális aktivitást mutatott az *Escherichia coli* és a *Listeria monocytogenes* ellen, és a film antioxidáns aktivitása kifejezetten javult (Ezati és Rhim 2019).

Sarıcaoglu és Turhan (2020) összehasonlították a kakukkfű, szegfűszeg és rozmaring illóolajok (1,5%) hatását csirkefehérje-filmekben. A legmagasabb antioxidáns aktivitást a szegfűszeg illóolajból nyerték, ezt követte a kakukkfű és a rozmaring illóolaj. A szerzők az illóolajjal dúsított filmek antimikrobiális tulajdonságait is vizsgálták *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* és *Listeria monocytogenes* ellen. A szegfűszeg illóolaj volt a leghatékonyabb a *Bacillus subtilis*, a *Staphylococcus aureus* és az *Escherichia coli* ellen, míg a kakukkfű illóolaj jobban teljesített a *Listeria monocytogenes* gátlása szempontjából. A legalacsonyabb antimikrobiális aktivitást a rozmaring illóolaj esetében figyelték meg (Sarıcaoglu és Turhan 2020).

Az EO-k különböző biológiai aktivitásokat mutatnak, bár az antioxidáns és antimikrobiális tulajdonságok a leginkább kiemelték. Megakadályozhatják az oxidáció és a mikrobiális fertőzés okozta romlást az élelmiszerekben. Ezt figyelembe véve okos csomagolóanyagokba kell őket beépíteni. Valójában számos tanulmány értékelte az EO-k okos csomagolóanyag részeként történő felhasználásának hatékonyságát nagyon különböző

élelmiszer-mátrixokban. A különböző alkalmazási módszereket tekintve a kapszulázást megfelelő technikának tekintik, mivel ez csökkenti az EO-k számos hátrányát.

Végül, a növényi források bioaktív vegyületek, egyes esetekben EO-k tárolójának tekinthetők. Ezen EO-k kivonása, kinyerése és beépítése új csomagolási rendszerekbe, például biológiailag lebomló filmekbe alternatív lehetőséget jelenthet az élelmiszer-csomagoló iparban.

Több tanulmányra van szükség az EO-k új csomagolási rendszerekbe történő hozzáadásának hatásainak értékeléséhez mechanikai, érzékszervi és biológiai tulajdonságaik tekintetében, valamint a fogyasztók és a környezet számára a biztonság és a mellékhatások hiányának biztosítására. Végezetül, az új aktív csomagolóanyagok és az EO-k használata előtt erősen ajánlott piaci tanulmányokat végezni, hogy megismerjük a fogyasztók elfogadottságát ezekkel az új termékekkel szemben (Carpena és mtsai. 2021).

2. A kutatás célja

A kutatás célja a növényi illóolajok alkalmazási lehetőségeinek tanulmányozása az aktív csomagolások esetén, a mikroszkopikus penészgombákra kifejtett gátló hatásukra, és a csírázásgátló tulajdonságukra alapozva, valamint növényi kivonatok felhasználása az intelligens csomagolás tervezés esetén.

3. Anyag és módszer

3.1. A mikroszkopikus penészgombák izolálása

A kutatás során burgonya, paradicsom, gyömbér, fekete áfonya, eper, szőlő és citrom felületén előforduló penészgombák kimutatását végeztük. A vizsgált mintából alapszuszenziót készítettünk (10 g minta + 90 ml hígítófolyadék). Az alapszuszenzióból 0,1 ml-t szélesztettünk steril Petri csészékben található Czapek Dox és Rose Bengal szelektív táptalajok felületére két ismétléssel. Az inkubálás 30 °C-on történt 5 napig. A kifejlődött penészgombákból tiszta tenyészeteket is készítettünk. Az azonosításuk a telepmorfológiai tulajdonságok és mikroszkópi preparátumok segítségével történt.

3.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatásának vizsgálata

A növényi illóolajok antimikrobiális hatását agardiffúziós módszerrel végeztük a különféle növényi anyagokról izolált penészgombák, valamint a törzsgyűjteményből származó *Penicillium expansum*, a *Penicillium citrinum*, az *Aspergillus ochraceus*, az *Aspergillus flavus* és az *Aspergillus niger* esetében. A vizsgált penészgombából fiziológias sóoldatban alapsuszpenziót készítettünk, és 0,1 ml-t Petri csészékbe előzetesen kitöltött és megszilárdult Czapek Dox táptalaj felületére szélesztettünk. Ezt követően a beoltott táptalajba steril pipettahegy segítségével lyukat készítettünk, melyekbe 0,1 ml-t pipettáztunk a vizsgált növényi illóolajból. Az inkubálás 3-5 napig tartott 30 °C-on. Ezt követően lemértük az inhibíciós zónák méreteit és értékeltük az eredményeket. A vizsgálatokat kétszeres ismétléssel végeztük.

A növényi illóolajok antimikrobiális hatását áfonya, eper, szőlő és cherry paradicsom esetében is vizsgáltuk. Ez esetben a gyümölcs és zöldség mintákat üvegedényekbe helyeztük, valamint 0,2 ml illóolajjal átitatott steril szűrőpapírt helyeztünk, lefedtük fóliával és 7 °C-os hőmérsékleten tároltuk. Kontroll mintákat is készítettünk, ahol nem használtunk illóolajat. Időközönként (24 óra, 48 óra, 1-4 hét) figyeltük a gyümölcsök és a paradicsom épségét, állagát és a mikroszkopikus penészgombák előfordulását. Az áfonya, eper és szőlő esetében kakukkfű, oregánó és fahéj illóolajokat használtunk, a cherry paradicsom esetében pedig kakukkfű, oregánó és menta illóolajokat.

3.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálata

A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálatát elsősorban a fehér étkezési burgonya esetében vizsgáltuk. A kiválasztott 16 különféle illóolaj a következő: kakukkfű (*Thymus vulgaris*), oregánó (*Origanum vulgare*), fahéj (*Cinnamomum verum*), menta (*Mentha spp.*), citromfű (*Melissa officinalis*), boróka (*Juniperus communis*), lemongrass (*Cymbopogon citratus*), rozmaring (*Rosmarinus officinalis*), kömény (*Carum carvi*), vadrózsa (*Rosa canina*), fenyő (*Pinus spp.*), levendula (*Lavandula angustifolia*), teafa (*Melaleuca alternifolia*), gyömbér (*Zingiber officinale*) és szegfűszeg (*Syzygium aromaticum*) és zsálya (*Salvia officinalis*).

Az illóolajok hatását két különféle módszerrel vizsgáltuk. Az egyik esetben az illóolaj légtérbe való áramoltatását alkalmaztuk, a Zheljazkov és mtsai. (2022) szerint leírt módszerhez hasonlóan (Zheljazkov és mtsai. 2022). Üvegedényekbe (500 ml térfogatú Berzelius poharakba)

helyeztük a burgonya gumókat és egy Eppendorf tubusba 0,2 ml illóolajat pipettáztunk és a tubust nyitva hagytuk. Az üvegedényt pedig fóliával befedtük. Szobahőmérsékleten hagyva 1 hét, 2 hét és 4 hét múlva megfigyeltük a csírázás mértékét. Kontroll mintát is használtunk, mely esetben nem használtunk illóolajat. A másik esetben a vizsgált illóolaj közvetlen hatását vizsgáltuk, a burgonyagumón található szemeket, a csírázás helyeit bekentük a vizsgált illóolajjal. A burgonyagumókat szintén üvegedénybe helyeztük, melyet befedtünk fóliával. Szobahőmérsékleten hagyva 1 hét, 2 hét és 4 hét múlva megfigyeltük a csírázás mértékét kontroll minta és az illóolajjal kezelt minták esetében. A tömény illóolaj, az 50%-os és a 25%-os napraforgó olajban hígított illóolaj csírázásgátló hatását vizsgáltuk.

A növényi illóolajok közvetlen csírázásgátló hatását a gyömbér esetében is vizsgáltuk a burgonya esetében leírt módszert használva. Az alkalmazott illóolajok a következők voltak: kakukkfű, levendula, fahéj, oregánó, citromfű, szegfűszeg és gyömbér.

A vizsgálatokhoz kiválasztott illóolajokat a kereskedelemből szereztük be.

3.4. Illóolaj tartalmú kitozán és Na-alginát filmek készítése és alkalmazása

A kutatás során kitozán és Nátrium(Na)-alginát alapú filmeket készítettünk, melyek összetételéhez a továbbiakban oregánó illóolajat, timolt adagoltunk, valamint ciklodextrinbe ágyazott oregánó illóolajat is használtunk.

A kitozán film elkészítése során 100 ml desztillált vízhez 1 ml ecetsavat adagoltunk, majd ehhez az oldathoz hozzáadtunk 2 g kitozánt. Az így kapott keveréket 4 órán át kevertettük mágneses kavarával fenntartva a keverék 25 °C-os hőmérsékletét. A kevertetési idő lejártá előtt 2 ml glicerolba 0,5 ml Tween 80 oldatot és 0,3 ml oregánó illóolajat kevertünk össze. A két oldatot összetöltve további 10 percig kevertettük. Az így nyert viszkózus oldattal vontuk be a burgonya gumók és a gyömbér csírázási helyeit, valamint epret merítéses módszerrel. Készítettünk ciklodextrinbe ágyazott oregánó illóolajat és ciklodextrinbe beépített timolt tartalmazó kitozán filmet is. A vizsgálatok során illóolaj és timol nélküli kitozán filmet is alkalmaztunk a burgonya, a gyömbér és az eper felületén.

A Na-alginát tartalmú film esetében Na-alginátot (0,5%) adagoltunk desztillált vízbe (100 ml) és 1 órán át kevertettük mágneses kavarával. Ezt követően 2 ml Tween 80 oldatba 0,3 ml oregánó illóolajat tettünk. A két oldatot összetöltve további 10 percig kevertettük. Az elkészült

oldattal kezeltünk epret, szőlőt és burgonyát (ez utóbbi esetben a csírázásgátló hatás vizsgálata céljából). Végül 2%-os kalcium-laktát-glükonát oldattal kezeltük a vékony filmbevonat kialakulása céljából. Készítettünk timolt tartalmazó filmet is, ez esetben a 2 ml Tween 80 oldathoz 0,1 g timolt tettünk.

Az oregánó illóolaj és a timol ciklodextrinbe való beépítését a García-Segovia és mtsai. (2011) által közölt tanulmány alapján készítettük (García-Segovia és mtsai. 2011). 25% illóolaj tartalmú ciklodextrin zárványkompleket állítottunk elő. Első lépésként két különböző oldatot készítettünk:

1. 133,33 ml víz, 66,66 ml etanol és 20 g ciklodextrin. Az elegyet 55 °C-on mágneses keverővel alaposan összekevertettük.
2. 65,97 ml etanol és 7,33 ml illóolaj.

A két oldatot összetöltöttük és 4 óráig szobahőmérsékleten kevertettük. Az illóolaj tartalmú ciklodextrin kapszulákat tartalmazó oldatból 25 ml-t adagoltunk a kitozán filmhez, összekevertük és ezt követően alkalmaztuk a burgonya, a gyömbér és az eper felületén.

3.5. Növényi kivonatok indikátor anyagként való felhasználása

A vizsgálat során céklából és fekete szőlőből préselt lé, valamint a kurkumin pH változásra bekövetkező színváltozásait vizsgáltuk 15 %-os agart tartalmazó filmbe juttatva. A pH változásra bekövetkező látványos színváltozás alapján ezek a természetes anyagok felhasználhatók lehetnek, mint az élelmiszerek romlásának indikátorai az intelligens csomagolások esetében. A vizsgálatokat bromtimolkék indikátort tartalmazó agar esetében is elvégeztük.

4. Az eredmények kiértékelése

4.1. A növényi anyagokról kimutatott mikroszkopikus penészgombák

A kutatás során burgonya, paradicsom, gyömbér, fekete áfonya, eper, szőlő és citrom felületén előforduló penészgombák kimutatását végeztük Czapek Dox és Rose Bengal szelektív táptalajok alkalmazásával. A kifejlődött penészgombákból tiszta tenyészeteket is készítettünk (10. ábra), összesen 41 penészgomba izolátumot vizsgáltunk.

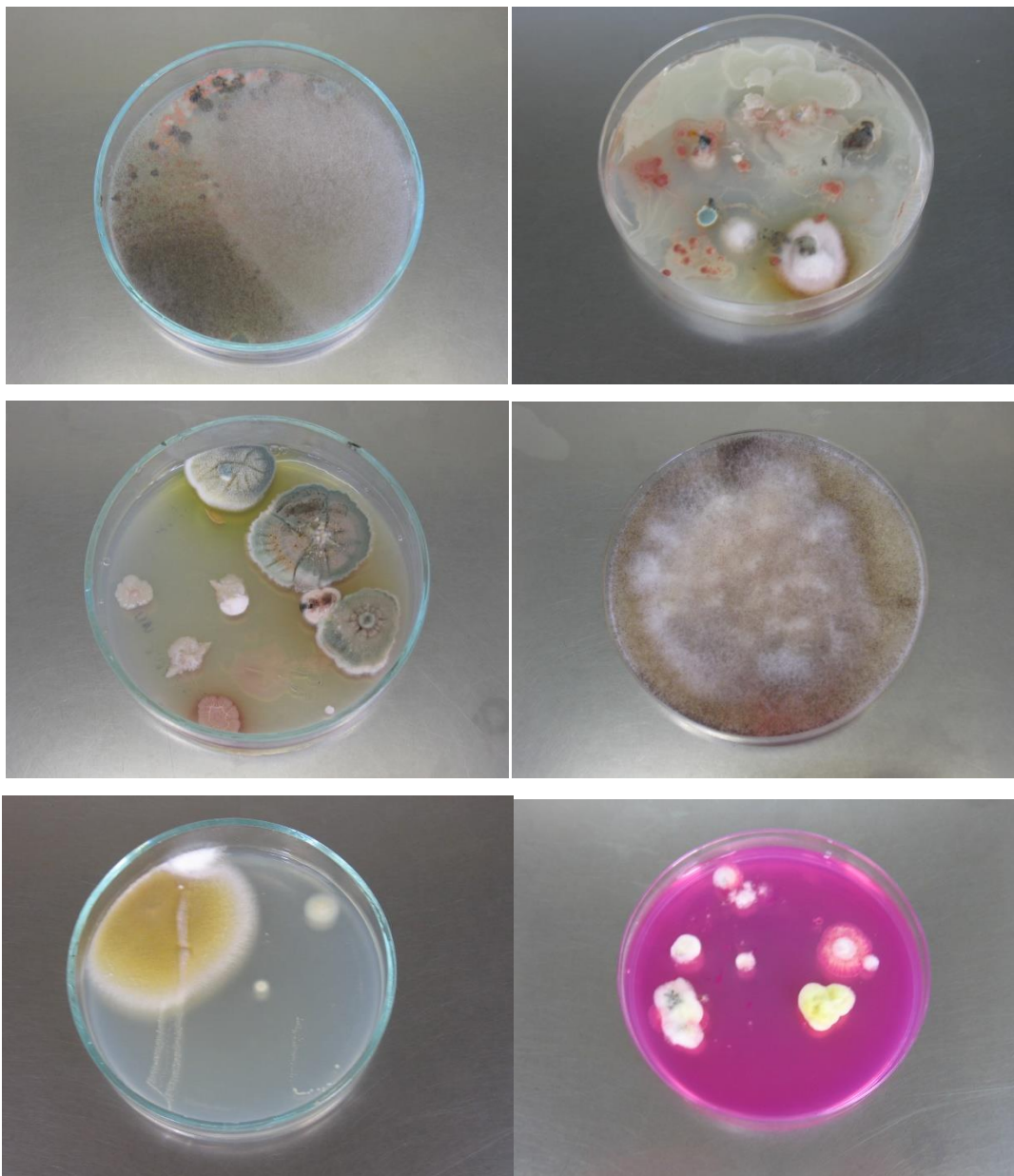


10. ábra. Az izolált penészgombák tiszta tenyészetei

Az összes vizsgált mintáról fejlődtek ki penészgombák, különböző telepszámmal (1. Táblázat). A legtöbb penészgomba az eper és a gyömbér mintákra volt jellemző.

1. Táblázat: Növényi mintákról kifejlődött penészgomba telepszámok (TKE – telepképző egység)

Vizsgált minta	TKE/g minta		
Áfonya	7·10	5·10	-
Eper	$6,2 \cdot 10^3$	$8,5 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$
Burgonya	$3 \cdot 10$	$4 \cdot 10$	$1,1 \cdot 10^3$
Paradicsom	$4 \cdot 10$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$
Szőlő	$7 \cdot 10$	-	-
Citrom	$1 \cdot 10^3$	-	-
Gyömbér	$1,1 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	-



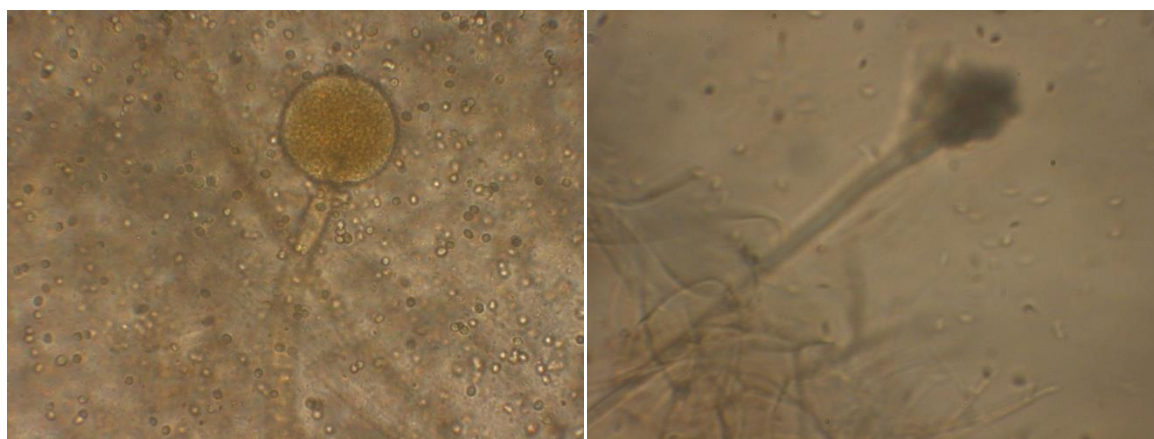
11. ábra. Az eper, a paradicsom, az áfonya, a gyömbér és a burgonya mintákból kifejlődött penészgomba telepek Czapek Dox és Rose Bengal szelektív táptalajokon

Az izolált gombák azonosítása a telepmorfológiai tulajdonságok és mikroszkópi preparátumok segítségével történt (11. ábra, 12. ábra). A kimutatott gombák különböző nemzetségekbe tartoznak (2. Táblázat).

A burgonya, az eper és a gyömbér minták esetében a penészgombák nagyobb diverzitása volt megfigyelhető.

2. Táblázat: A vizsgált mintákról kimutatott penészgombák

Vizsgált minta	Mikroszkopikus penészgombák
Burgonya	<i>Cladosporium, Paecilomyces, Penicillium, Phoma, Aspergillus niger</i>
Eper	<i>Mucor mucedo, Cladosporium, Penicillium</i>
Paradicsom	<i>Chrysonilia, Penicillium</i>
Szőlő	<i>Chrysonilia, Penicillium</i>
Citrom	<i>Penicillium</i>
Gyömbér	<i>Mucor, Cladosporium, Penicillium, Microsporum gypseum</i>
Áfonya	<i>Microsporum gypseum, Penicillium</i>



12. ábra. Eperről származó *Mucor mucedo* és *Penicillium* spp. mikroszkópi képe

4.2. A növényi illóolajok antimikrobiális hatása a vizsgált penészgombákra

A szőlő, az eper, az áfonya, a paradicsom, a burgonya és a gyömbér felületéről izolált penészgombák esetében vizsgáltuk a különféle növényi illóolajok antimikrobiális hatását (13. ábra).

3. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása a szőlő mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag $\pm$ S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	Penészgomba 1	Penészgomba 2
Óregánó	teljes gátlás	teljes gátlás
Kakukkfű	teljes gátlás	teljes gátlás
Teafa	teljes gátlás	teljes gátlás
Fahéj	19,4 $\pm$ 3,97	18,9 $\pm$ 1,37

4. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása az eper mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag± S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	Penészgomba 1	Penészgomba 2	Penészgomba 3
Óregánó	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Kakukkfű	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Teafa	18,6 ± 8,61	teljes gátlás	teljes gátlás
Fahéj	19,8 ± 4,07	29,3 ± 2,83	teljes gátlás

5. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása a paradicsom mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag± S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	Penészgomba 1	Penészgomba 2	Penészgomba 3
Óregánó	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Kakukkfű	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Teafa	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Fahéj	14,4 ± 3,02	teljes gátlás	teljes gátlás

6. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása az áfonya mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag± S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	Penészgomba 1	Penészgomba 2	Penészgomba 3	Penészgomba 4
Óregánó	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Kakukkfű	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Teafa	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Fahéj	teljes gátlás	30,9 ± 3	teljes gátlás	23,4 ± 2,36

7. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása a gyömbér mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag± S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	P.G.1	P.G.2	P.G.3	P.G.4	P.G.5	P.G.6	P.G.7
Óregánó	T.G.*	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.
Kakukkfű	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.
Gyömbér	nincs gátlás	nincs gátlás	4,6 ±1,89	15,6±4,16	2,2±1,03	T.G.	T.G.

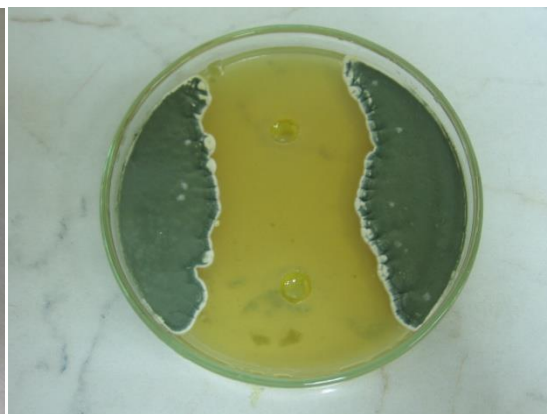
* teljes gátlás

8. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása a burgonya mintáról izolált penészgombákra
(inhibíciós zóna mm, átlag± S.D, n=10)

Vizsgált illóolaj	P.G.1	P.G.2	P.G.3	P.G.4	P.G.5	P.G.6	P.G.7	P.G.8
Óregánó	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	17,7±2,9
Kakukkfű	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	21,4±2,3
Gyömbér	T.G.	T.G.	3,2±0,42	T.G.	8±0,47	T.G.	T.G.	28,2±2,86
Szegfűszeg	T.G.	25,8±0,63	23±0,5	T.G.	T.G.	T.G.	T.G.	14,3±2,75



A.



B.

13. ábra. Az illóolajok hatására kialakult gátlási zónák (A: szegfűszeg illóolaj hatása a burgonyáról izolált penészgombára, B: fahéj illóolaj hatása a paradicsomról izolált penészgombára)

A vizsgálat során kapott eredmények alapján a legerősebb antimikrobiális hatás az oregánó és a kakukkfű illóolajok esetében volt megfigyelhető, a fahéj és a gyömbér illóolajok egyes penészgombák esetében (a paradicsomról izolált penészgomba, a burgonyáról izolált penészgomba) gyengébb gátló hatást váltottak ki (3-8. Táblázat).

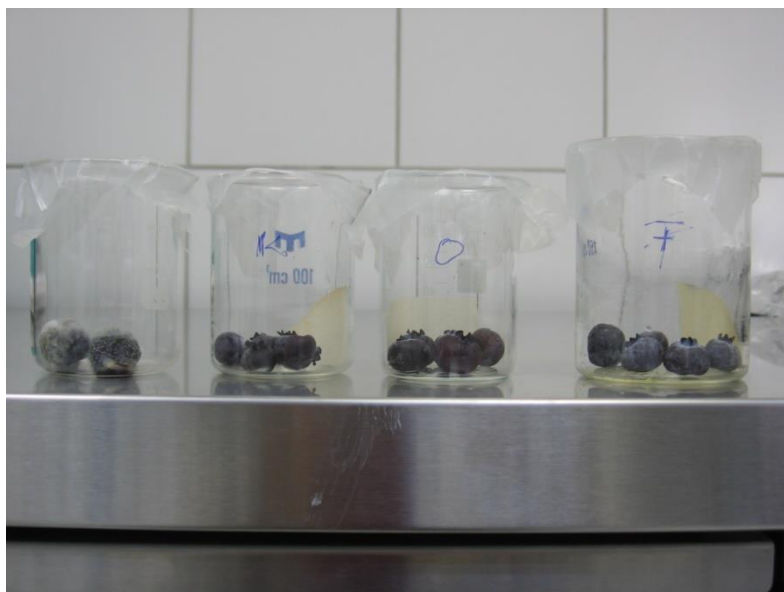
Megvizsgáltuk a törzsgyűjteményből vett penészgombák esetében is a kakukkfű, az oregánó, a gyömbér, a fahéj, a teafa és a szegfűszeg illóolajok antimikrobiális hatását. A kakukkfű, az oregánó és a teafa illóolajok hatására teljes gátlás alakult ki (9. Táblázat). A fahéj illóolaj kismértékű gátlást váltott ki az *Aspergillus flavus* mikotoxin termelő penészgombára. A *Penicillium citrinum* volt a legérzékenyebb az alkalmazott illóolajokkal szemben.

9. Táblázat: Illóolajok antimikrobiális hatása *Aspergillus* és *Penicillium* fajokra (inhibíciós zóna mm, átlag $\pm$ S.D, n=10)

Illóolaj	<i>Aspergillus ochraceus</i> (F.00850)	<i>Aspergillus flavus</i> (F.0048)	<i>Penicillium expansum</i> (F.00601)	<i>Penicillium citrinum</i> (F.00815)	<i>Aspergillus niger</i> (F.00071)
Kakukkfű	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Gyömbér	19,2 $\pm$ 3,55	15,6 $\pm$ 5,05	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Fahéj	23,9 $\pm$ 3,14	4,7 $\pm$ 2,4	19,1 $\pm$ 2,28	teljes gátlás	33,4 $\pm$ 6,05
Oregánó	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Teafa	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás	teljes gátlás
Szegfűszeg	teljes gátlás	19 $\pm$ 2,74	23,5 $\pm$ 3,47	teljes gátlás	19,8 $\pm$ 4,28

A növényi illóolajok antimikrobiális hatását áfonya, eper, szőlő és cherry paradicsom esetében is vizsgáltuk. Az áfonya, eper és szőlő esetében kakukkfű, oregánó és fahéj illóolajokat használtunk, a cherry paradicsom esetében pedig kakukkfű, oregánó és menta illóolajokat. Az áfonya és a cherry paradicsom esetében a légtérbe jutott illóolajok gátolták a penészgombák kifejlődését a gyümölcs és zöldség felületén. Jelenlétük 6 hét hűtött tárolás után sem volt megfigyelhető, viszont a kontroll mintán megjelentek a penészgombák és romlást okoztak (14. ábra, 15. ábra). A paradicsom esetében a menta illóolaj volt a leghatékonyabb, itt kaptuk a legjobb eredményeket az állag és a morfológiai tulajdonságok megőrzése szempontjából is. Az eper minták esetében az oregánó és a kakukkfű illóolajok gátolták a penészgombák kifejlődését,

viszont egy hét elteltével az eprek állaga és színe megváltozott. Hasonló eredményeket kaptunk a szőlő esetében is.

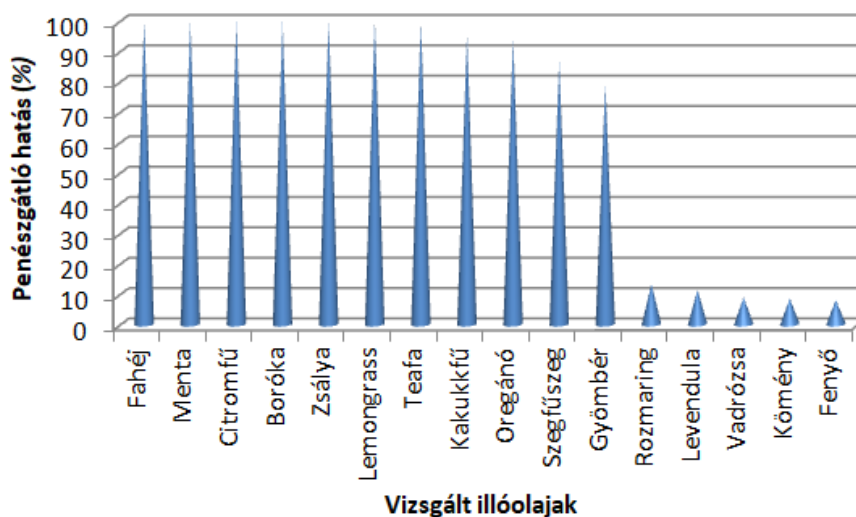


14. ábra. Az illóolajok gátló hatása az áfonya felületén lévő penészgombákra



15. ábra. Az illóolajok gátló hatása a paradicsom felületén lévő penészgombákra

A vizsgált illóolajok közül a legtöbb (11) erős penészgátló hatással rendelkezett, kivéve a rozmaring, levendula, vadrózsa, kömény illetve fenyő illóolajok, melyek alig mutattak antimikrobiális aktivitást (16. ábra).



16. ábra. A penészgátló hatás számszerű kiértékelése a vizsgált illóolajokkal

4.3. A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálati eredményei

A növényi illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálatát elsősorban a fehér étkezési burgonya esetében vizsgáltuk 16 különféle illóolaj esetében.

Az illóolajok hatását két különféle módszerrel vizsgáltuk. Az egyik esetben az illóolaj légtérbe való áramoltatását alkalmaztuk, a másik esetben a vizsgált illóolaj közvetlen hatását vizsgáltuk, a burgonyagumón található szemeket, a csírázás helyeit bekentük a vizsgált illóolajjal. A tömény illóolaj, az 50%-os és a 25%-os napraforgó olajban hígított illóolaj csírázásgátló hatását is megfigyeltük.

Eredményeink azt mutatták, hogy a tömény illóolajjal bekent burgonya esetében a leghatékonyabbak a kakukkfű, az oregánó, a fahéj, a menta, a citromfű, a boróka, a zsálya, a lemongrass, a teafa, a gyömbér, illetve a szegfűszeg volt, melyek teljesen gátolták a burgonya csírázását (17. ábra, 18. ábra). A leggyengébben a fenyő, a vadrózsa, illetve kömény illóolajok reagáltak. Az 50%-os, illetve 25%-os napraforgó olajban hígított illóolaj csírázásgátló hatásának vizsgálata kapcsán azt találtuk, hogy csak az oregánó, illetve lemongrass illóolajok voltak hatékonyak mindkét esetben.

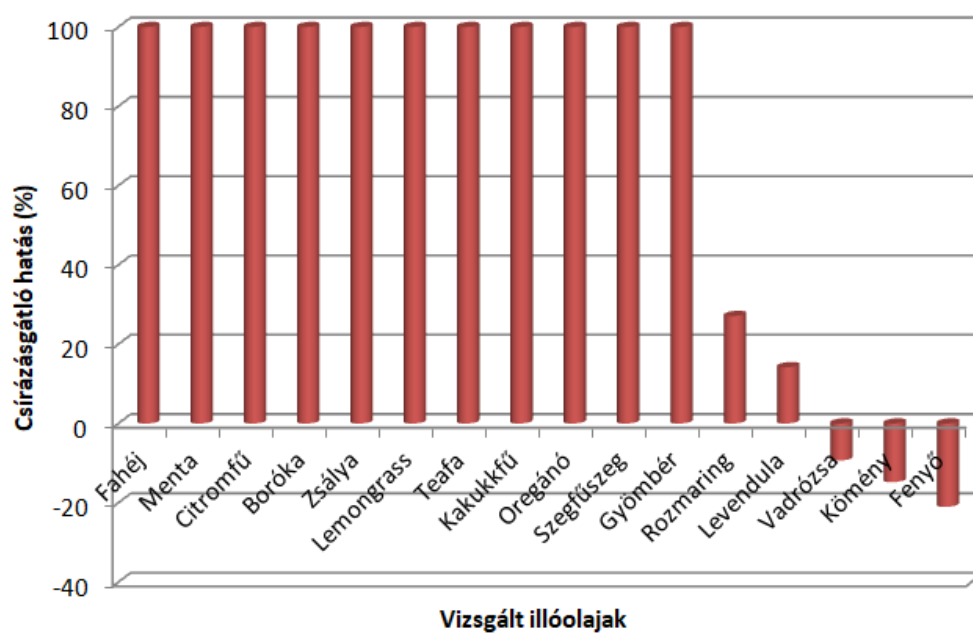
Az illóolajoknak légtérbe való kiáramoltatási kísérletei során az illóolajok nem fejtettek ki számottevő hatást a burgonyagumók csírázására.



A.

B.

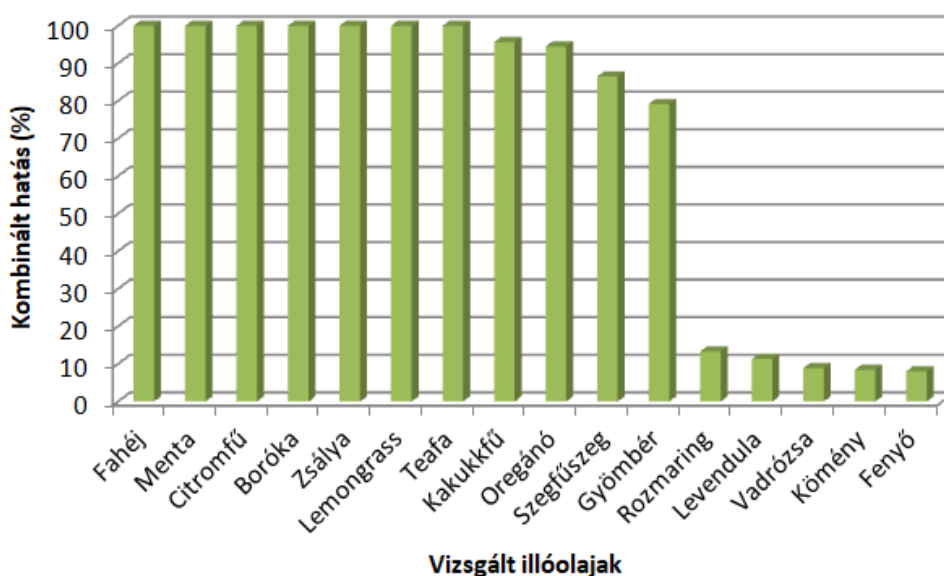
17. ábra. Az oregánó illóolaj csírázásgátló hatása: Kontroll minta (A), illóolajjal kezelt burgonyagumók (B)



18. ábra. Csírázásgátló hatás számszerű kiértékelése a vizsgált illóolajokkal

A 19. ábra a vizsgált illóolajok csírázásgátló képességét (csírahosszban kifejezve) és penészgátló hatását (gátlási zóna átmérője) tüntették fel. Azért, hogy mindkét hatást együttesen

figyelembe vesszük, a két hatás valamilyen kombinációját kell képezni. A vizsgált illóolaj annál ígéretesebb, minél nagyobb a gátlási zóna és minél rövidebbek a csírák, ezért a hatékonyság egyenesen arányos a gátlási zóna nagyságával és fordítottan arányos a csírahosszal. Mivel több esetben is teljes csírázásgátlás is megfigyelhető, ezért a zero értékeket eggyel helyettesítettük, azért, hogy elkerüljük a zeroosztó hibáját (19. ábra). Ezután a legnagyobb hatást 100%-nak tekintettük és eszerint beszkaláztuk, azért, hogy az értékeket százalékban tudjuk kifejezni.



19. ábra. Kombinált (csírázás- és penészgátló) hatás számszerű kiértékelése a vizsgált illóolajokkal

A 19. ábra alapján megállapítható, hogy az utolsó öt illóolajat nem szükséges tovább vizsgálni és a továbbiakban az egzotikus illóolajokat sem használnánk költségcsökkentés céljából, mivel eléggé drágák az ipari felhasználáshoz. A továbbiakban a lokális fajokra szeretnénk koncentrálni, főleg a kakukkfű, oregánó, a menta, a boróka és zsálya. Ezen illóolajok együttes hatást mutattak, mind a csírázásgátló, mind a penészgátló hatással rendelkeznek.

A burgonya (*Solanum tuberosum* L.) az egyik legfontosabb élelmisznövény a világon. További kutatások szükségesek a betakarítás utáni burgonyacsírázás problémájának a megoldására, az egyes hatásmechanizmusok jobb megértése céljából (Hu és mtsai., 2023).

A gyömbér esetében az oregánó, a kakukkfű és levendula illóolajok fejtettek ki csirázásgátló hatást, amikor közvetlenül alkalmaztuk a tömény illóolajokat a gyömbér gyöktörzsén.

4.4. Az illóolaj tartalmú ehető filmek és a vizsgált növényi kivonatok alkalmazási lehetőségei

A kutatás során kitozán és Na-alginát alapú filmeket készítettünk, melyek összetételéhez a továbbiakban oregánó illóolajat, timolt adagoltunk, valamint ciklodextrinbe ágyazott oregánó illóolajat is használtunk.

A kitozán film elkészítése során 100 ml desztillált vízhez 1 ml ecetsavat adagoltunk, majd ehhez az oldathoz hozzáadtunk 2 g kitozánt. Az így kapott keveréket 4 órán át kevertettük mágneses kavarával fenntartva a keverék 25 °C-os hőmérsékletét. A kevertetési idő lejártá előtt 2 ml glicerolba 0,5 ml Tween 80 oldatot és 0,3 ml oregánó illóolajat kevertünk össze. A két oldatot összetöltve további 10 percig kevertettük. Az így nyert viszkozus oldattal vontuk be a burgonya gumók és a gyömbér csirázási helyeit, valamint az epret merítéses módszerrel. Készítettünk ciklodextrinbe ágyazott oregánó illóolajat és ciklodextrinbe beépített timolt tartalmazó kitozán filmet is. A vizsgálatok során illóolaj és timol nélküli kitozán filmet is alkalmaztunk a burgonya, a gyömbér és az eper felületén.

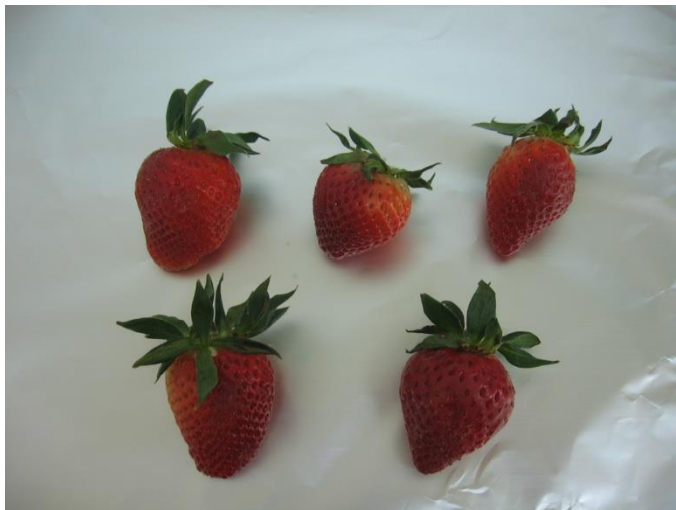
A ciklodextrineknek fontos szerepe van az illóolajok élelmiszeriparban történő alkalmazhatóságában, mivel az illóolajok előnyös tulajdonságaik mellett (antimikrobiális hatás, íz- és hatóanyag tartalom), előnytelen tulajdonságokkal is rendelkeznek (rossz vízzoldhatóság és diszpergalhatóság, valamint illékonyosság), amelyek nagymértékben gátolják az élelmiszerekben történő közvetlen alkalmazhatóságukat. Felületaktív anyagok alkalmazása azért nem előnyös, mert ezek általában szintetikus összetevők, melyek alkalmazását szeretnénk visszaszorítani, de ezek alkalmazása nem gátolja az illóolajok könnyű eltávolodását az elegyből. A ciklodextrinek alkalmazása több szempontból előnyös, mivel nagy vízzoldékonyságú molekula, természetes és engedélyezett élelmiszer adalék. A külső felülete hidrofíl, belső felületében hidrofób molekulák megkötésére képes, melyek geometriailag beférnek a belső üregbe.

Az illóolaj komponensek a ciklodextrin molekula üregében reverzibilisen megkötődnek, ezáltal védve vannak a külső hatásoktól (UV sugárzás, oxidáció, stb.), ezáltal növekszik a kémiai stabilitásuk. Az így képződött komplex, vízben nagyon jól oldódik, ezáltal az illóolaj homogénen elosztható az oldatban. További előny, hogy pontosan beállítható az illó komponens

koncentrációja az oldatban és az illóolaj kontrolláltan, lassan, hosszú időn keresztül szabadul fel, ezáltal hosszútávú hatást fejt ki, anélkül, hogy az illó komponensek távoznának az oldatból. A képződött ciklodextrin komplex beépíthető és teljesen kompatibilis a hidrogélekkel.

A ciklodextrinek legfontosabb előnyei a nagy vízdoldhatóság, a megnövekedett biológiai hozzáférhetőség, a szabályozható felszabadulás (controlled release).

Az oregánó illóolajat tartalmazó kitozán film hatékonyan gátolta a burgonya csírázását, ugyanilyen jó eredményt kaptunk a ciklodextrinbe ágyazott oregánó illóolajat, illetve timolt tartalmazó film esetében is. A gyömbérnél csírázásgátlást az oregánó illóolajat tartalmazó kitozán film váltott ki. Az eper esetében a filmmel való bevonás sikeres volt, viszont nem hosszabbította meg az eltarthatósági időt (20. ábra, 21. ábra).



20. ábra. Kitozán filmmel bevont eper



21. ábra. Kitozán filmmel bevont burgonyagumó a csírázási helyeken

A Na-alginát alapú filmek esetében a kapott eredményeink alapján javasoljuk a nagyobb Na-alginát koncentráció alkalmazását a film jobb minőségének biztosítása érdekében. Az oregánó illóolajat tartalmazó Na-alginát tartalmú film hatékonyan gátolta a burgonya csírázását, valamint a szőlő esetében gátolta a penészgombák kifejlődését és hozzájárult az eltarthatósági idő meghosszabbításához. Az eper esetében ez a film nem alkalmazható, mivel egy hét elteltével kifejlődtek a felületén a penészgombák (22. ábra).



22. ábra. Oregánó illóolaj tartalmú Na-alginát filmmel bevont burgonyagumók és a kontroll minta

A növényi kivonatok indikátor anyagként való felhasználása során céklából és fekete szőlőből préselt lé, valamint a kurkumin pH változásra bekövetkező színváltozásait vizsgáltuk 15 %-os agart tartalmazó filmbe juttatva. A pH változásra bekövetkező látványos színváltozás alapján ezek a természetes anyagok felhasználhatók lehetnek, mint az élelmiszerek romlásának indikátorai az intelligens csomagolások esetében (23-26. ábra). A vizsgálatokat bromtimolkék indikátort tartalmazó agar esetében is elvégeztük.



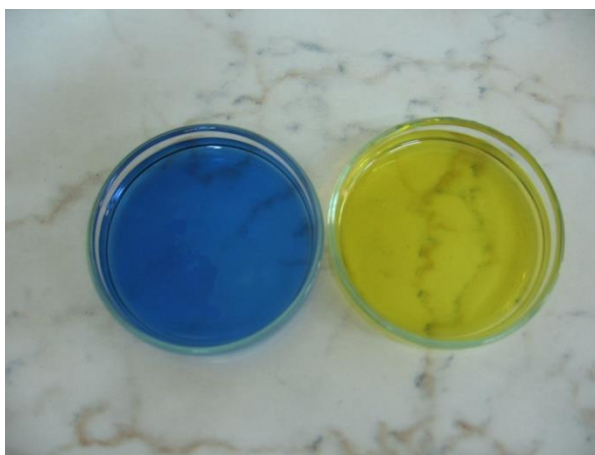
23. ábra. A fekete szőlőlé színváltozása pH 4 és pH 10 értékeknél



24. ábra. A kurkumin színváltozatai agar filmben pH 12 és pH 4,63 értékeknél



25. ábra. A céklalé színváltozatai agar filmben pH 7; 10,6 és 3 értékeknél



26. ábra. A bromtimolkék indikátor színe agar filmben, pH 10 és pH 5,5 értékeknél



27. ábra. Az agar filmben lévő növényi színanyagok és a bromtimolkék színváltozásának tesztelése az eper romlási folyamata és a burgonya csírázása során

Az eper és a burgonya szobahőmérsékleten való tárolása során képződő CO_2 és egyéb bomlástermékek jelenlétében a kurkumin, a szőlő és a cékla kivonat színe változott (27. ábra).

5. Következtetések

A mikrobiológiai vizsgálatok során a különféle növényi anyagok felületéről számos penészgombát izoláltunk szelektív táptalajokon. A vizsgált növényi illóolajok erőteljes antimikrobiális hatást fejtettek ki a vizsgált penészgombákra. Egyes növényi illóolajok felhasználhatók a burgonya csírázás gátlása céljából. Sikerült illóolaj tartalmú kitozán és Na-alginát alapú filmeket előállítani, valamint a ciklodextrinbe ágyazott illóolajat beépíteni a kitozán alapú filmbe. A létrehozott filmek antimikrobiális hatásuk mellett, alkalmazhatók csírázásgátlás céljából is, elsősorban a burgonya esetében.

6. Jövőbeni célkitűzések

Az izolált penészgombák beazonosítása molekuláris biológiai módszerrel. A minimális gátló koncentráció meghatározása az alkalmazott illóolajok esetében. Aktív és intelligens csomagolás létrehozása felhasználva a leghatékonyabb illóolajokat, ehető filmeket és növényi kivonatokat. Az illóolajok csírázásgátló hatásának vizsgálata során a csírák szövettani változásait is követjük majd.

7. Irodalomjegyzék

- Aday, M. S., & Yener, U. (2015). Assessing consumers ' adoption of active and intelligent packaging. *British Food Journal*, 117(1), 157–177. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2013-0191>
- Akthar, M. S., Degaga, B., & Azam, T. (2014). Antimicrobial activity of essential oils extracted from medicinal plants against the pathogenic microorganisms : A review. *J. Issues ISSN*, 2, 1–7. <https://journalissues.org/wp-content/uploads/2014/07/Akthar-et-al.pdf>. Letöltve: 2023.04.10
- Altomare, C., Logrieco, A. F., & Gallo, A. (2021). Mycotoxins and Mycotoxigenic Fungi : Risk and Management . A Challenge for Future Global Food Safety and Security. In *Reference Module in Life Sciences* (Vol. 1). Elsevier Ltd, Italy. https://www.researchgate.net/publication/349566170_Mycotoxins_and_Mycotoxigenic_Fungi_Risk_and_Management_A_Challenge_for_Future_Global_Food_Safety_and_Security. Letöltve: 2023.04.12
- Amin, U., Kashif, M., Khan, I., Aslam, A., Nazir, A., Riaz, S., Usman, M., Sultan, M., Muneekata, P. E. S., & Lorenzo, M. (2022). Biodegradable active , intelligent , and smart packaging materials for food applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 33(January). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100903>. Letöltve: 2023.04.12.
- Asbahani, A. El, Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., Mousadik, A. El, Hartmann, D., Jilale, A., Renaud, F. N. R., Elaissari, A., & Lyon, C. B. (2015). Essential oils : From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1–2), 220–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Baptista-Silva, S., Borges, S., Ramos, O. L., & Pintado, M. (2020). The progress of essential oils as potential therapeutic agents : a review. *Journal of Essential Oil Research*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1746698>
- Barska, A., & Wyrwa, J. (2016). Consumer perception of active and intelligent food packaging. *Problems of Agricultural Economics*, 4(349), 138–159. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2897525. Letöltve: 2023.04.13
- Benny, A., & Thomas, J. (2018). Essential Oils as Treatment Strategy for Alzheimer ' s Disease : Current and Future Perspectives. *Planta Medica*, 85(03), 239–248. <https://doi.org/doi:10.1055/a-0758-0188>. Letöltve: 2023.04.10
- Beyki, M., Zhavah, S., Tahere, S., Rahmani-cherati, T., Abollahi, A., Bayat, M., Tabatabaei, M., & Mohsenifar, A. (2014). Encapsulation of Mentha piperita essential oils in chitosan – cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against Aspergillus flavus. *Industrial Crops & Products*, 54, 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.033>

- Bezerra, F. W. F., Salazar, M. de L. A. R., Freitas, L. C., de Oliveira, M. S., dos Santos, I. R. C., Dias, M. N. C., & Carvalho, R. N. (2020). Chemical composition , antioxidant activity , anti-inflammatory and neuroprotective effect of *Croton matourensis* Aubl . Leaves extracts obtained by supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104992. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104992>
- Brudzynski, K., Abubaker, K., & Miotto, D. (2012). Unraveling a mechanism of honey antibacterial action : Polyphenol / H₂O₂ -induced oxidative effect on bacterial cell growth and on DNA degradation. *Food Chemistry*, 133(2), 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.035>
- Calvo, H., Marco, P., Blanco, D., Oria, R., & Venturini, M. E. (2016). Potential of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* BUZ-14 as a biocontrol agent of postharvest fruit diseases. *Food Microbiology*, 63, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.11.004>
- Carpena, M., Nuñez-Estevez, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P., & Prieto, M. A. (2021). Essential Oils and Their Application on Active Packaging Systems : A Review. *Resources*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.3390/resources10010007>
- Cascaes, M. M., Silva, S. G., Cruz, J. N., Oliveira, S. De, Oliveira, J., Antonio, A., Moraes, B. De, Augusto, F., Santana, K., Diniz, L., Helena, E., Andrade, D. A., Oliveira, M. S. De, Oliveira, J., Antonio, A., Moraes, B. De, Miranda, A., Santana, K., Diniz, L., & Helena, E. (2021). First report on the *Annona exsukka* DC . Essential oil and in silico identification of potential biological targets of its major compounds. *Natural Product Research*, 1–4. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1893724>
- Cortés, J. C. G., Curto, M., Carvalho, V. S. D., Pérez, P., & Ribas, J. C. (2019). The fungal cell wall as a target for the development of new antifungal therapies. *Biotechnology Advances*, 37(6), 107352. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.02.008>
- de Oliveira, M. S. (2022). *Essential Oils. Applications and Trends in Food Science and Technology*. Springer Nature Switzerland AG.
- Deák, T., Kiskó, G., Maráz, A., & Mohácsiné, F. C. (2006). *Élelmiszer-mikrobiológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Deshwal, G. K., Panjagari, N. R., Badola, R., Singh, A. K., Minz, P. S., Ganguly, S., & Alam, T. (2018). Characterization of Biopolymer - Based UV - Activated Intelligent Oxygen Indicator for Food - Packaging Applications. *Journal of Packaging Technology and Research*, 2(1), 29–43. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0029-2>
- Dhakad, A. K., Pandey, V. V., & Rawat, J. M. (2018). Biological, medicinal and toxicological significance of Eucalyptus leaf essential oil a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 833–848. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8600>
- El-Awady, A. A. E. (2019). Effect of Essential Oils on Storability and Preservation of Some Vegetable Crops. In *Essential Oils: Oils of Nature* (pp. 1–20).
- El-Awady Aml, A., Moghazy, A. M., Gouda, A. E. A., & Elshatoury, R. S. A. (2014). Inhibition of Sprout Growth and Increase Storability of Processing Potato by Antisprouting Agent. *Trends in Horticultural Reserch*, 4(2), 31–40. <https://scialert.net/abstract/?doi=thr.2014.31.40>. Letöltve: 2023.04.08.
- Elgayyar, M., Draughon, F. A., Golden, D. A., & Mount, J. R. (2001). Antimicrobial Activity of Essential Oils from Plants against Selected Pathogenic and Saprophytic Microorganisms. *Journal of Food Protection*, 64(7), 1019–1024. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.7.1019>
- Enikova, R. K., Stoynovska, M. R., & Karcheva, M. D. (2020). Mycotoxins in fruits and vegetables. *Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)*, 26 (2), 3139–3143.

- <https://www.journal-imab-bg.org/issues-2020/issue2/vol26issue2p3139-3143.html>.
Letöltve: 2023.04.11.
- Ezati, P., & Rhim, J.-W. (2019). pH-responsive pectin-based multifunctional films incorporated with curcumin and sulfur nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 115638.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115638>
- Ferdeş, M., & Ungureanu, C. (2012). Antimicrobial activity of essential oils against four food-borne fungal strains. *University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin*, 74(2), 8.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/86010410/fullf25_103172-libre.pdf?1652702634=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAntimicrobial_Activity_of_Essential_Oils.pdf&Expires=1683104500&Signature=PVeJS0NpgYTMCBKozTjLp8rpY1pGXgdUnkluFxsUes0jRgy9IkSAaS8OnXXwgNJ9qoJJzBxevitgFD~kKvN~jHxFwizjvdhc4Tjm2jjSbio0nPxWcxwgEyXOV8YXUD4Tff9MXueX4B0J4buxWYng7EogQF3yiT5UNDFsxP0FsQwfEnTw098gM~hojgEscXN7PlSKh8IU6hEIg4thMOaHvwLjwMyfgKna2NaW4AKYL9ihjnSI58eTYIV8nht-vfslZQjg6lDf-vUVhrsLEmuBtggR2rlYNoaukCKrZwFhcNBBbFEa3NtZaiw8F6WdD5lS8HCHJJ7U1JYMQcl7wkaSNA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Letöltve: 2023.04.11.
- Fu, Y., Zu, Y., Chen, L., Shi, X., Wang, Z., Sun, S., & Efferth, T. (2007). Antimicrobial Activity of Clove and Rosemary Essential Oils Alone and in Combination. *Phytotherapy Research*, 21(10), 989–994. <https://doi.org/10.1002/ptr>
- Galvano, F., Ritieni, A., & Pietri, A. (2005). Mycotoxins in the human food chain. In *The mycotoxin blue book 1* (pp. 187–224).
- Gammariello, D., Conte, A., Lucera, A., Mastromatteo, M., Alessandro, M., & Nobile, D. (2013). ScienceDirect Anti-yeast activity of natural compounds : In vitro and in vivo tests. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2013.10.003>
- García-Segovia, P., Baretto-Palacios, V., Bretón, J., & Martínez-Monzó, J. (2011). Microencapsulation of Essential Oils Using β -Cyclodextrin : Applications in Gastronomy. *Journal of Culinary Science & Technology*, 9 (3), 150–157.
<https://doi.org/10.1080/15428052.2011.594728>
- György, É. (2021). *Általános mikrobiológia* (2nd ed.). Scientia Kiadó, Kolozsvár.
- Hu, Q., Luo, Z., Tang, C., Wang, L., Zhou, X., Yang, M., Yang, X., Li, D., & Li, L. (2023). Potatoes dormancy release and sprouting commencement : A review on current and future prospects. *Food Frontiers*, 1–18. <https://doi.org/10.1002/fft2.228>. Letöltve: 2023.05.02
- Jamróz, E., Juszczak, L., & Kucharek, M. (2018). Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1094–1101. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.014>
- Ju, J., Guo, Y., Cheng, Y., & Yaoc, W. (2022). Analysis of the synergistic antifungal mechanism of small molecular combinations of essential oils at the molecular level. *Industrial Crops & Products*, 188, 115612. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115612>
- Kimbuathong, N., Leelaphiwat, P., & Harnkarnsujarit, N. (2020). Inhibition of melanosis and microbial growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using high CO₂ modified atmosphere packaging. *Food Chemistry*, 312, 126114.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126114>
- Kumar, S., Mudai, A., Roy, B., Basumatary, I. B., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). Biodegradable Hybrid Nanocomposite of Chitosan / Gelatin and Green Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles for Food Packaging. *Foods*, 9(9), 1143.

<https://doi.org/10.3390/foods9091143>

- Li, J., Zhao, L., Wu, Y., Shahid, M., & Rajoka, R. (2018). Insights on the Ultra High Antibacterial Activity of Positionally Substituted 2'-O-hydroxypropyl Trimethyl Ammonium Chloride Chitosan: a joint interaction of -NH₂ and -N⁺(CH₃)₃ with bacterial cell wall. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.09.077>
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Xie, Z., Liu, Y., & You, Y. (2017). The Impact of the Postharvest Environment on the Viability and Virulence of Decay Fungi. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(10), 1681–1687.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1279122>
- Lloyd, K., Miroso, M., Birch, J., Science, F., & Zealand, N. (2019). Active and Intelligent Packaging. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 3, 177–182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22421-9>
- Ma, Q., Du, L., & Wang, L. (2017). Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH₃ indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 244, 759–766. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.035>
- Maciel, V. B. V., Yoshida, C. M. P., & Franco, T. T. (2012). Development of a prototype of a colourimetric temperature indicator for monitoring food quality. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.037>
- Martín, J.-F., García-Estrada, C., & Zeilinger, S. (Eds.). (2014). *Biosynthesis and Molecular Genetics of Fungal Secondary Metabolites*. Springer New York, NY.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1191-2>
- Maurya, A., Prasad, J., Das, S., & Dwivedy, A. K. (2021). Essential Oils and Their Application in Food Safety. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 653420.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.653420/full>. Letöltve: 2023.04.09
- Minaeva, L. P., Aleshkina, A. I., Markova, Y. M., Polyanina, A. S., Pichugina, T. V., Bykova, I. B., Stetsenko, V. V., Efimochkina, N. R., & Sheveleva, S. A. (2019). Studying the contamination of tea and herbal infusions with mold fungi as potencial mykotoxin producers: the first step to risk assessment (message 1). *Health Risk Analysis*, 1, 93–102.
<https://journal.fcrisk.ru/eng/sites/journal.fcrisk.ru.eng/files/upload/article/353/health-risk-analysis-2019-1-10.pdf>. Letöltve: 2023.04.11
- Najafabadi, A. S., Naghavi, M. R., Farahmand, H., Abbasi, A., & Yazdanfar, N. (2017). Chemical Composition of the Essential Oil from Oleo-gum-resin and Different Organs of *Ferula gummosa*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(1), 282–288.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1263582>
- Nieminen, T., Neubauer, P., & Sivela, S. (2008). Volatile compounds produced by fungi grown in strawberry jam. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 2051–2056.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.009>
- Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.). Springer New York, NY.
- Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and Intelligent Packaging Systems for a Modern Society. *Meat Science*, 98(3), 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential Oils in Insect Control : Low-Risk Products in a High-Stakes World. *Annual Review of Entomology*, 57(1), 405–424.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>
- Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., Puoci, F., Vinci, G., & Picci, N. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21(11), 1425–1435.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.028>

- Ribes, S., Fuentes, A., Talens, P., & Barat, J. M. (2017). Prevention of fungal spoilage in food products using natural compounds : a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(12), 2002–2016. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1295017>
- Ricci, D., Epifano, F., & Fraternale, D. (2017). The Essential Oil of *Monarda didyma* L. (Lamiaceae) Exerts Phytotoxic Activity In Vitro against Various Weed Seeds. *Molecules*, 22(2), 222. <https://doi.org/10.3390/molecules22020222>
- Robertson, G. L. (2016). *Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition*. CRC press.
- Russo, P., Arena, M. P., Fiocco, D., Capozzi, V., Drider, D., & Spano, G. (2016). *Lactobacillus plantarum* with broad antifungal activity: A promising approach to increase safety and shelf-life of cereal-based products. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.04.027>
- Saljoughian, S., Roohinejad, S., Bekhit, A. E. A., Greiner, R., Omidizadeh, A., Nikmaram, N., & Khaneghah, A. M. (2017). The effects of food essential oils on cardiovascular diseases : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(10), 1688–1705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1279121>
- Saricaoglu, F. T., & Turhan, S. (2020). Physicochemical , antioxidant and antimicrobial properties of mechanically deboned chicken meat protein fi lms enriched with various essential oils. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100527>
- Schaefer, D., & Cheung, W. M. (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges. *Procedia CIRP*, 72, 1022–1027. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.240>
- Sedova, I., Kiseleva, M., & Tutelyan, V. (2018). Mycotoxins in Tea: Occurrence, Methods of Determination and Risk Evaluation. *Toxins*, 10(11), 444. <https://doi.org/10.3390/toxins10110444>
- Souza, E. L. De, Lima, E. D. O., & Luna, K. R. De. (2005). Inhibitory Action of Some Essential Oils and Phytochemicals on the Growth of Various Moulds Isolated From Foods. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(2), 245–250. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000200011>
- Steenis, N. D., Herpen, E. Van, Lans, I. A. Van Der, Ligthart, T. N., & Hans, C. M. (2017). Consumer response to packaging design: The role of packaging materials and graphics in sustainability perceptions and product evaluations. *Journal of Cleaner Production*, 162, 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.036>
- Sun, Q., Li, J., Sun, Y., Chen, Q., Zhang, L., & Le, T. (2020). The antifungal effects of cinnamaldehyde against *Aspergillus niger* and its application in bread preservation. *Food Chemistry*, 317, 126405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126405>
- Tesio, F., Weston, L. A., & Ferrero, A. (2011). Allelochemicals identified from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L .) residues and their potential inhibitory activity in the field and laboratory. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.003>
- Thoma, J.; Zheljazkov, V. . (2022). Sprout Suppressants in Potato Storage: Conventional Options and Promising Essential Oils—A Review. *Sustainability*, 14, 6382. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6382>. Letöltve: 2023.04.08.
- Toma, F. M., & Abdulla, N. Q. F. (2013). Isolation and Identification of Fungi from Spices and Medicinal Plants. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 5.3, 131–138. https://www.researchgate.net/profile/Farid-Toma/publication/367350293_Isolation_and_Identification_of_Fungi_from_Spices_and_M

- edicinal_Plants/links/63cecb28e922c50e99bb1fb9/Isolation-and-Identification-of-Fungi-from-Spices-and-Medicinal-Plants.pdf. Letöltve: 2023.04.08.
- Valková, V., Ďuranová, H., Galovičová, L., Vukovic, N. L., Vukic, M., & Kačániová, M. (2021). In Vitro Antimicrobial Activity of Lavender, Mint, and Rosemary Essential Oils and the Effect of Their Vapours on Growth of *Penicillium* spp. in a Bread Model System. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules26133859>
- Vasuki, M. T., Kadirvel, V., & Narayana, G. P. (2023). Smart packaging — An overview of concepts and applications in various food industries. *Food Bioengineering*, 2(1), 25–41. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fbe2.12038>. Letöltve: 2023.04.21.
- Wang, Y., Wang, L., Liu, F., Wang, Q., Selvaraj, J., Xing, F., ... Liu, Y. (2016). Ochratoxin A Producing Fungi, Biosynthetic Pathway and Regulatory Mechanisms. *Toxins*, 8(3), 83. <https://doi.org/10.3390/toxins8030083>
- Wisniewski, M., Droby, S., Norelli, J., Liu, J., Schena, L., Agraria, D., Mediterranea, U., Feo, L., & Calabria, R. (2016). Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.012>
- Wu, F., Groopman, J. D., & Pestka, J. J. (2014). Public Health Impacts of Foodborne Mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 351–372. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092431>
- Wu, H., Lei, Y., Zhu, R., Zhao, M., Lu, J., Xiao, D., Jiao, C., Zhang, Z., Shen, G., & Li, S. (2019). Food Hydrocolloids Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol. *Food Hydrocolloids*, 90(October 2018), 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.016>
- Wu, Z., Wu, J., Peng, T., Li, Y., Lin, D., Xing, B., & Han, G. (2017). Preparation and Application of Starch / Polyvinyl Alcohol / Citric Acid Ternary Blend Antimicrobial Functional Food Packaging Films. *Polymers*, 9(12), 102. <https://doi.org/10.3390/polym9030102>
- Yam, K. L. (2012). Intelligent packaging to enhance food safety and quality. *Emerging Food Packaging Technologies: Principles and Practice*, 137–152. <https://doi.org/10.1533/9780857095664.2.137>
- Zhai, X., Li, Z., Shi, J., Huang, X., Sun, Z., Zhang, D., Zou, X., Sun, Y., Zhang, J., Holmes, M., Gong, Y., Povey, M., & Wang, S. (2019). A colorimetric hydrogen sulfide sensor based on gellan gum-silver nanoparticles bionanocomposite for monitoring of meat spoilage in intelligent packaging. *Food Chemistry*, 290(January), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.138>
- Zhang, L., Dou, X.-W., Zhang, C., Logrieco, A., & Yang, M.-H. (2018). A Review of Current Methods for Analysis of Mycotoxins in Herbal Medicines. *Toxins*, 10(2), 65. <https://doi.org/10.3390/toxins10020065>
- Zheljaskov, V. D., Micalizzi, G., Yilma, S., Cantrell, C. L., Reichley, A., Mondello, L., Semerdjieva, I., & Radoukova, T. (2022). *Melissa officinalis* L. as a Sprout Suppressor in *Solanum tuberosum* L. and an Alternative to Synthetic Pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70 (44), 14205–14219.
- Zinedine, A., Brera, C., Elakhdari, S., Catano, C., & Debegnach, F. (2006). Natural occurrence of mycotoxins in cereals and spices commercialized in Morocco. *Food Control*, 17(11), 868–874. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.06.001>