



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK

EUROPEAN UNIVERSITY

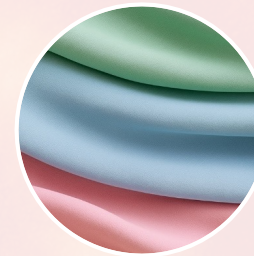
Sienirihmasto biopohjaisten väriaineiden lähteenä

Sienirihmasto biopohjaisten väriaineiden lähteenä

- I Tausta ja konteksti
- II Sieniperäiset väriaineet
- III Case-esimerkki: Bikaveriini
- IV Tulevaisuuden näkymät

Väriaineteollisuuden nykytila

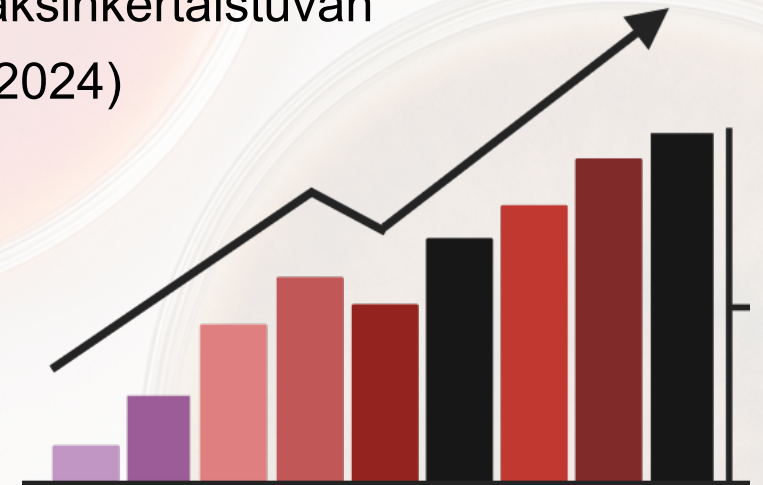
- Värejä kaikkialla: tekstiilit, kosmetiikka, elintarvikkeet, pakkaukset
- Väriaineita ja pigmenttejä tuotetaan vuosittain yli 10 Mt, josta 80–90 % on fossiilipohjaisia
- Teollisen väriainekäytön varjopuolia:
 - Ympäristökuormitus (jätevedet, saasteet)
 - Terveyshaitat (toksisuus, allergiat)
 - Kestävyysskriisi (fossiiliset raaka-aineet, eettisyys)



Tekstiilitehtaiden jätevedet ovat värjänneet Karnoparakanan punaiseksi; Kuva: Envirotec.

Kestävyyspaineet ja markkinamuutos

- EU:n kemikaalisäätely (REACH) edellyttää biohajoavia, turvallisia ja jäljitettäviä väriaineita
- Kuluttajien ”clean label” -periaate ja tietoisuus kemikaalijäämistä lisäävät kysyntää vastuullisille ja luonnonmukaisille vaihtoehdoille
- Markkinan arvioidaan kasvavan 5–6 % vuosivauhdilla ja lähes kaksinkertaistuvan 2030-luvun alkuun mennessä (esim. Fortune Business Insights, 2024)



Kohti luonnonmukaisempaa väriainetuantoa

- Luonnonväriaineita voidaan tuottaa kasvi-, eläin- ja mikrobilähteistä
 - Kasvipäriset väriaineet (esim. indigo, värimatara, kurkuma): laaja väripaletti, mutta tuotanto riippuu kasvukaudesta, viljelyalasta ja vesivaroista
 - Eläinperäiset väriaineet (esim. karmiinihappo, lac): värit intensiivisiä ja stabiileja; tuotantoa rajoittaa eettiset näkökohdat ja resurssitehokkuus
 - Mikrobiperäiset väriaineet (esim. Monascus-, *Xanthophyllomyces*-pigmentit): skaalautuva ja maatalousriippumaton tuotantoprosessi; laaja hyödyntäminen edellyttää lisää tutkimus- ja kehitystyötä
- Mikrobit muodostavat lupaavan ja monimuotoisen alustan luonnonväriaineiden tuotannolle



Sienirihmasto bioväriaineiden lähteenä

- Sienirihmasto (myseeli) muodostaa sienen kasvullisen rakenteen ja toimii ravinteiden, energian ja aineenvaihduntatuotteiden kuljetusverkostona
- Rihmastona kasvavat sienet edustavat bioväriaineiden lähdettä, jossa yhdistyvät:

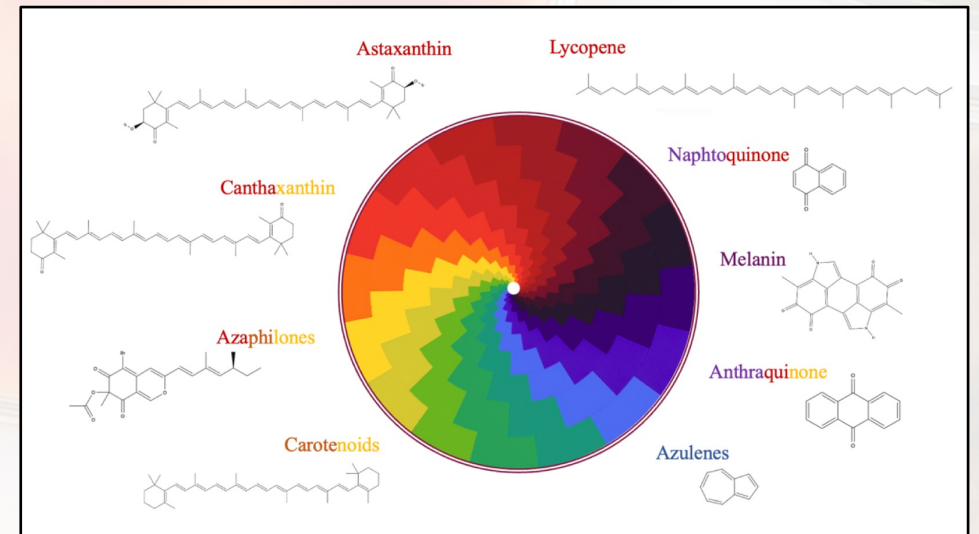
- I. **Aineenvaihdunnan monimuotoisuus**
- II. **Bioaktiiviset ja funktionaaliset ominaisuudet**
- III. **Kestävä ja hallittava tuotantoprosessi**



Kuva: ECBF

Aineenvaihdunnan monimuotoisuus

- Rihmasienet syntetisoivat sekundäärimetaboliitteja, joista monet ovat voimakkaasti värillisiä
- Väriskaala kattaa lähes koko näkyvän spektrin, keltaisista ja oransseista sävyistä punaiseen, violettiin ja sinivihreään
 - Antrakinonit → punainen, oranssi (esim. *Cortinarius*)
 - Bikaveriini → punainen, violetti (*Fusarium*)
 - Melaniinit → ruskea, musta (*Agaricus*, *Aspergillus*)
 - Xylindeinit → sinivihreä (*Chlorociboria*)



Kuva: Nea Virta

Bioaktiiviset ja funktionaaliset ominaisuudet

- Rihmasienistä johdetut väriaineet ovat osa sienen puolustusjärjestelmää: ne suojaavat solurakenteita valon, hapetusstressin ja muiden organismien aiheuttamilta vaurioilta
- Samoja ominaisuuksia voidaan hyödyntää teollisuudessa, jolloin väriaineet toimivat sekä värinlähteinä että bioaktiivisina yhdisteinä
 - Antrakinonit → antioksidatiivisia ja antimikrobisia ominaisuuksia → kosmetiikka, elintarvikkeet, tekstiilit, pinnoitteet
 - Bikaveriini → antimikrobinen ja sytotoksinen → lääketiede, pakkausmateriaalit
 - Melaniinit → valoa ja säteilyä absorboivia → kosmetiikka, tekstiilit
 - Xylindeinit → sähköä johtavia ja valoa absorboivia → optiset materiaalit





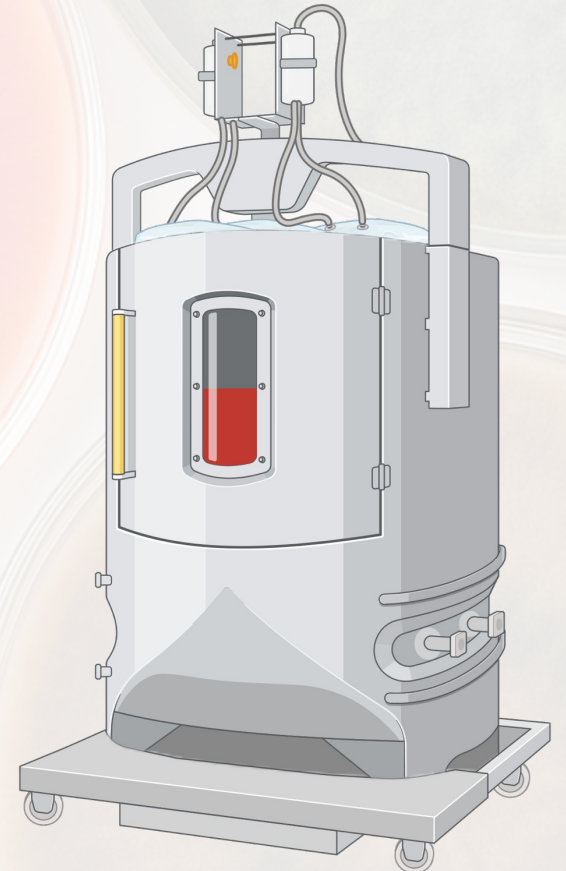
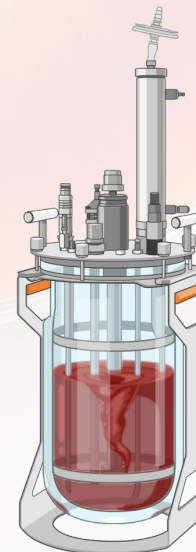
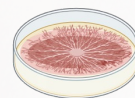
HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Kestävä ja hallittava tuotantoprosessi

- Bioprosessit mahdollistavat tasalaatuisen, toistettavan ja ympäristötekijöistä riippumattoman tuotannon
- Kontrolloidut prosessiolosuhteet tarjoavat keinon ohjata tuotanto-organismien aineenvaihduntaa ja säädellä tuotettujen yhdisteiden ominaisuuksia
- Sivuvirtojen hyödyntäminen ravinteina lisää resurssitehokkuutta ja vähentää tuotantoprosessin ympäristökuormitusta



The background of the slide features five petri dishes containing bacterial cultures. Three dishes show a uniform red color, while one shows a greenish-grey color and another shows a brownish color. A semi-transparent pink rectangular box is centered over the dishes, containing the text 'Case: Bikaveriini'.

Case: Bikaveriini



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Bikaveriini: bioaktiivinen polyketidipigmentti

- *Fusarium*-suvun rihmasienten tuottama punainen polyketidipigmentti
- Pigmentillä todettu antimikrobisia, antioksidatiivisia ja sytotoksisia vaikutuksia; tutkittu myös antituumorisena yhdisteenä (in vitro)
- Kiinnostava yhdiste voimakkaan värin ja monipuolisten biologisten ominaisuuksien vuoksi
- Toisaalta biologinen aktiivisuus ja toksisuus edellyttää kontrolloitua tuotantoa ja sovelluskohtaista turvallisuusarviointia





HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Tutkimuksen lähtökohdat ja tavoite

- *Fusarium oxysporum* -rihmasientä ja sen tuottamaa bikaveriinia käytettiin mallijärjestelmänä bioprosessin ohjattavuuden ja resurssitehokkuuden tarkastelussa
- Bikaveriinin biosynteesi on tunnetusti herkkä ravinne- ja ympäristötekijöille, kuten hiilen ja typen lähteille, happipitoisuudelle ja pH:lle
- Tavoitteena oli ymmärtää, miten nämä tekijät vaikuttavat biosynteesin dynamiikkaan, pigmentin ominaisuuksiin ja prosessin hallittavuuteen



Kuva: HAMK Bio

Tutkimusasetelma ja kokeellinen toteutus

1. Miten hiilen- ja typenlähteet ja niiden keskinäinen suhde ohjaavat aineenvaihdunnan suuntautumista ja pigmenttituotantoa
2. Miten ravinteiden saatavuus ja kulutus vaikuttavat biomassan kasvuun ja pigmentin muodostumisen dynamiikkaan
3. Miten prosessiolosuhteet, kuten pH, happipitoisuus ja lämpötila, vaikuttavat biosynteesin tehokkuuteen ja pigmentin ominaisuuksiin
4. Miten nämä tekijät heijastuvat tuotetun väriaineen sävyyn ja valonkestoon



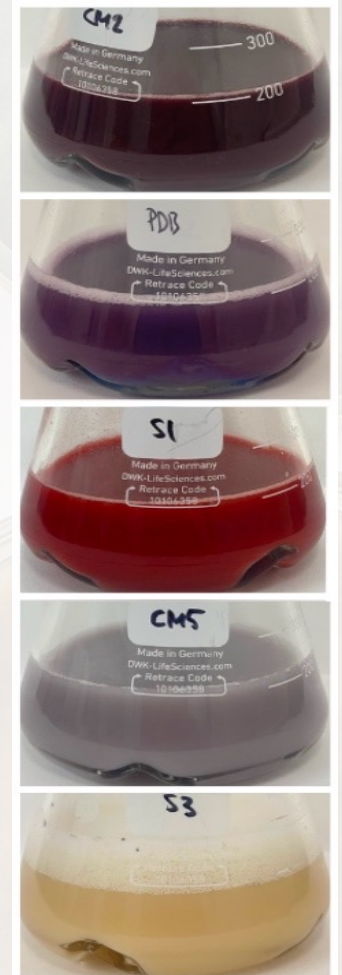
HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Ravinne- ja prosessiolosuhteiden vaikutus bikaveriinibiosynteesiin

- Bikaveriinin muodostuminen ei ollut lineaarisesti sidoksissa biomassan kasvuun: paljon kasvua $\neq$ paljon väriä
- Ravinteiden saatavuus ohjasi aineenvaihdunnan suuntautumista: typpirajoitteiset olosuhteet lisäsivät bikaveriinin tuotantoa; hiilenlähteen laatu puolestaan määritti, ohjautuiko hiili pigmenttisynteesiin vai primääriseen kasvuun
- Kasvualustan luonnollinen happamoituminen ohjasi tuotetun värin sävyä: alhainen pH tuotti punaisia ja korkeampi violetteja sävyjä
- Bioreaktoriviljely mahdollisti tuotannon skaalauksen ja johti korkeampiin saantoihin sekä tasalaatuisempaan pigmenttituotantoon kuin pienemmän mittakaavan kasvatukset



Kuva: Nea Virta

Bikaveriinitutkimuksen johtopäätökset

- *F. oxysporum* mukauttaa aineenvaihduntaansa ravinteiden saatavuuden ja ympäristötekijöiden mukaan, mikä ohjaa sekundäärimetabolian aktivoitumista ja biosynteesin intensiteettiä
- Bikaveriinibiosynteesi heijastaa solun aineenvaihdunnallista tilaa ja tarjoaa indikaattorin aineenvaihdunnan säätelyn ja prosessivasteiden tarkasteluun
- Prosessiolosuhteiden kontrolloitu säätö mahdollistaa väriainetuotannon optimoinnin, toistettavuuden ja skaalattavuuden teollisessa mittakaavassa



Kuva: Nea Virta

Tutkimuksen laajempi merkitys

- Mikro-organismit tarjoavat laajan ja osin hyödyntämättömän biokemiallisen potentiaalin väriaineiden ja muiden arvoyhdisteiden tuotantoon
- Bioprosessointiin perustuva tuotanto tarjoaa keinon vakioda biologisia reittejä ja siirtää ne teollisesti hallittuihin ympäristöihin
- Tämä lähestymistapa luo perustan siirtymälle resurssi-intensiivisestä luonnonvarojen käytöstä kohti kontrolloituja, kiertotalouteen perustuvia tuotantomalleja
- Moderni biotekniikka ja synteettinen biologia vahvistavat tätä kehitystä mahdollistamalla aineenvaihduntareittien suunnittelun, moduloinnin ja optimoinnin sovelluskohtaisesti



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Kiitos!

Tutkimus toteutettu Hauhon Säästöpankkisäätiön rahoittamassa Pohjoisten sienten väripaletti (SIEVÄ) -projektissa ja Business Finlandin rahoittamassa Kestävät biopigmentit ja sideaineet (BioPigment) -projektissa.

**BUSINESS
FINLAND**

Hauhon
Säästöpankkisäätiö