



Keemiline kommunikatsioon

käitumist mõjutavad lõhnasignaalid

Randel Kreitsberg

Keemiline ökoloogia

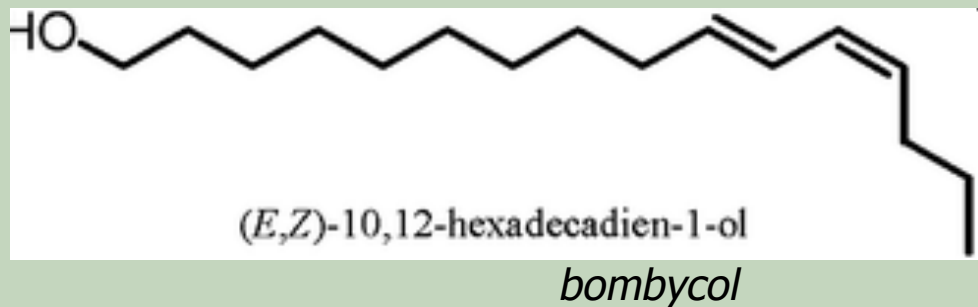
- Suhteliselt uus interdistsiplinaarne uurimisvaldkond (40 aastat vana)
- püüd võidelda taimekahjuritega
- olfaktoorse signaalid ehk lõhnasignaalid – lenduvad keemilised ühendid, mis on organismide poolt tajutavad lõhnana (või ka mitte lõhnana), olfaktoorse organi poolt.



Kõik hulkraksed organismid on seotud nende käitumist mõjutavate mitmesuguste olfaktoorsete signaalidega.

Praktikas kasutusel: toitumis-, arengu-, pesitsemis-, paaritumiskäitumise ja kiska-saakloom suhte juures.

Ajalugu



- Adolf Butenandt (Nobeli laureaat 1939) identifitseeris 1959. aastal siidiliblikaid uurides emasele liblikale seksuaalselt mõjuva atraktandi ehk siis suguferomooni.
- 1959- keemilise ökoloogia sünniaastaks.
- 60ndad-70ndad - gaas-kromatograafia ja mass-spektromeetria – sai võimalikuks väikeste lenduvate osakeste mõõtmine. Ka elektrofüsioloogilised mõõtmised.
- 1975 – alustas ilmumist *Journal of Chemical Ecology*
- 1984 – *International Society of Chemical Ecology*

Signaaliülekanne süsteem

- Signaalisüsteem koosneb:
 - signaali saatjast,
 - signaalist endast
 - vastuvõtjast
 - keskkonnast (õhk, vesi).
- On hädavajalik, et saatja-vastuvõtja on signaaliga töötades „samal lainel” – evolutsiooni tulemus.
- Signaali võib looduses toetada teiste meelte kaudu saadav info: visuaalne, akustiline jm.

Signaaliülekande süsteem

Sender



Female

Message



Medium

Receiver

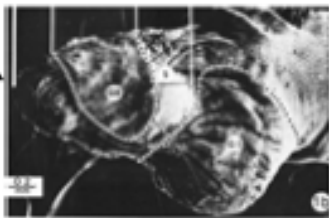


Male

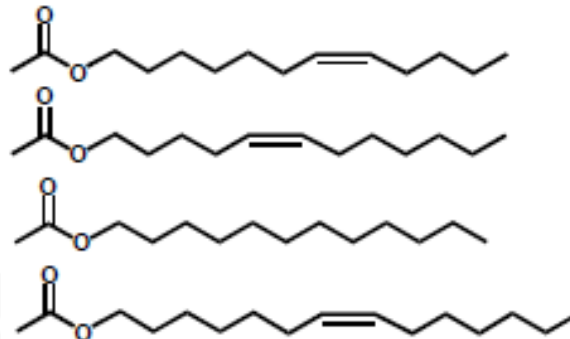
Source-transmitter

Signal

Responder

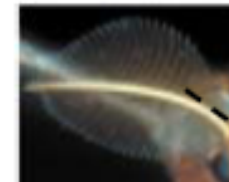


CNS Gland(s)



Noise

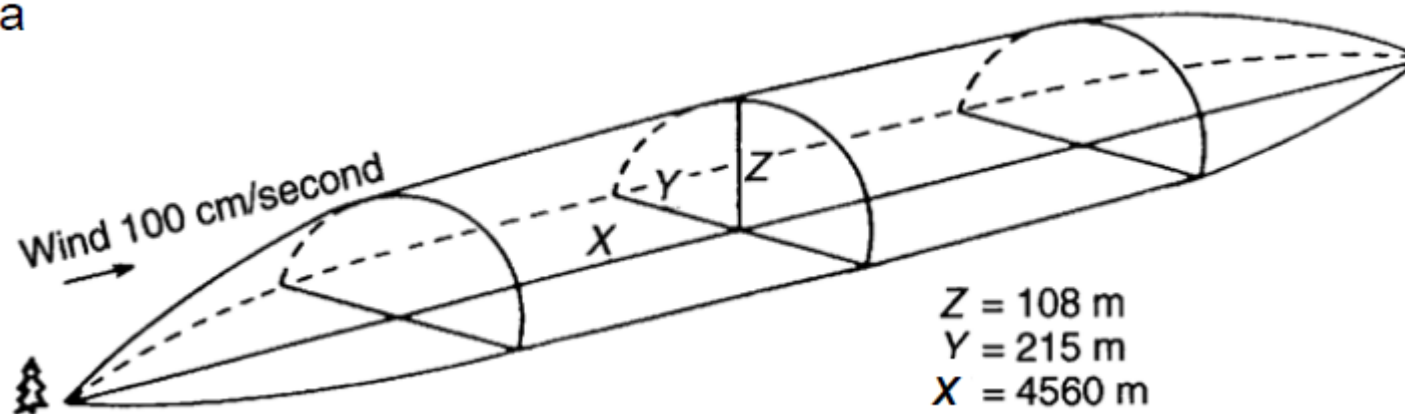
Chemical(s)



Receptors CNS

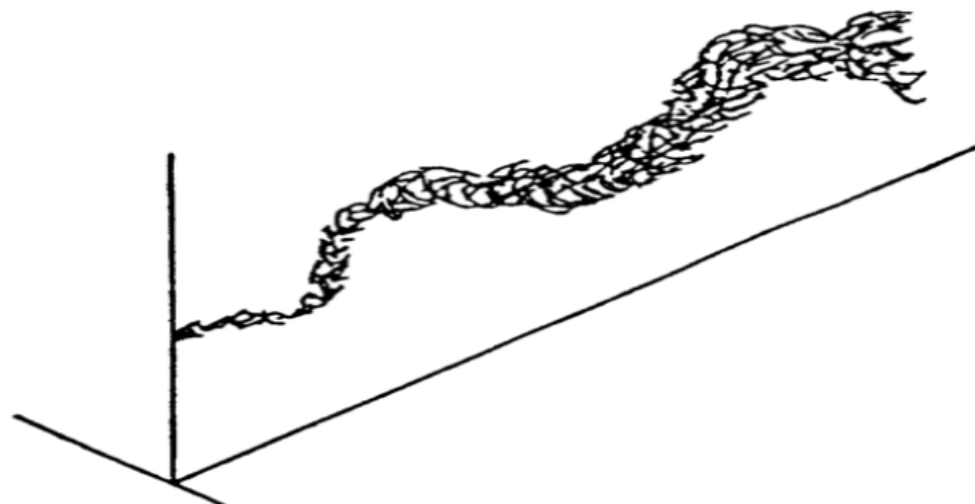
Signaali levik

a



- Bossert ja Wilson, 1963
- Murlis et al., 1992.

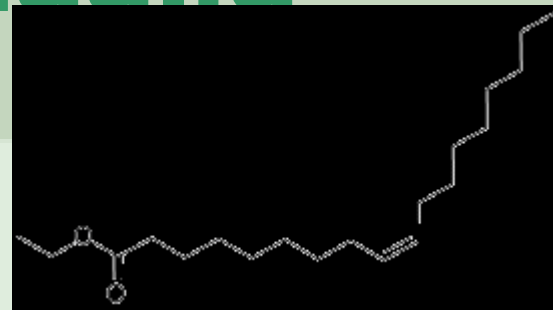
b



Olfaktoorsed signaalid

- levinuimateks ühenditeks on:

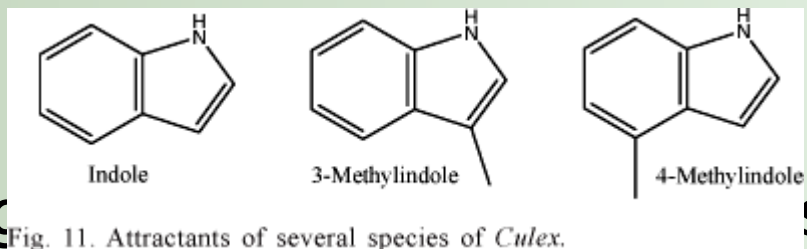
- rasvhappe derivaadid,



ethyl oleate - mesilased

- terpenoidid ehk isoprenoidid – eukalüpt, mentool, kaneel, kanep, kollased lilled

- aromaatsed ühendid.



- Sagedamini kasutatavad (nt partneri leidmiseks liigisiselt).

sed (nt partneri

Olfaktoorsed signaalid

- Semiokemikaal – signaali kandev kemikaal (semeon – signaal Kr. k).
- 40 uurimisaasta jooksul on teada saadud: keemiliste signaalide koostis, signaalide käitumuslik efekt, retseptorite ehitus ja töötamine, praktiline kasu inimese jaoks; on välja töötatud mitmeid analüüsimeetodeid; on teada üht-teist nende biosünteesist ja geneetikast, signaali ökoloogilisest ja evolutsioonilisest rollist.

Analüüsimeetodid

- GC-MS (gaas-kromatograaf mass-spektromeeter) – üks enim kasutust leidv analüüsimeetod. Ka õhukese kihi kromatograafia (TLC).
- EOG – elektroolfaktogramm – elektriimpulsi mõõtmine retseptorrakult.
- EAG – elektroantennogram – elektriimpulsi mõõtmine putuka tundlalt.

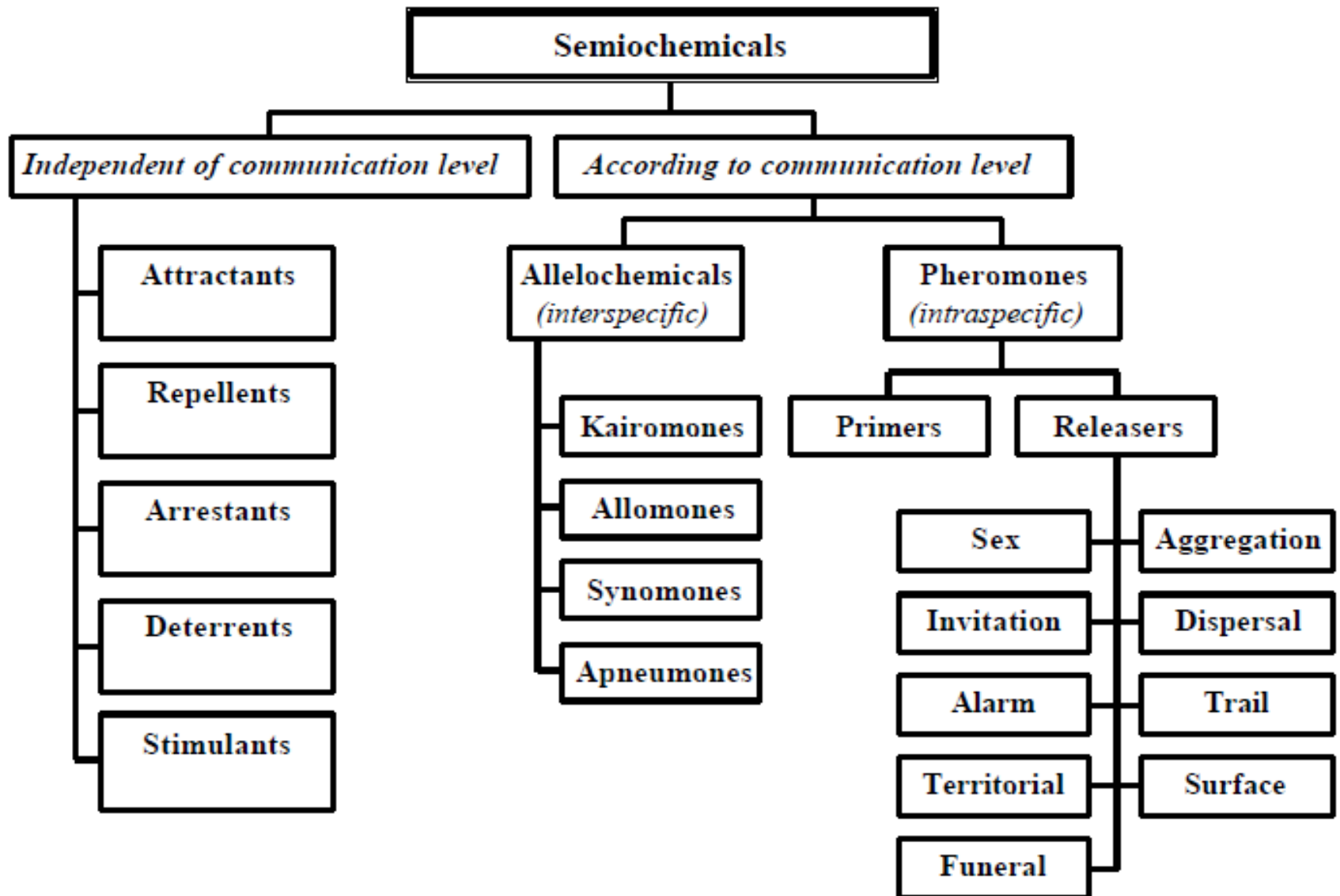
Klassikaline uurimise järjekord:

1. katsele eelnevad käitumise vaatlused – materjali filmimine looduslähedastes tingimustes
2. proovide kogumine – lenduva keemilise materjali kogumine objektilt
3. lahutamine – komplekssete ühendite lahutamine fraktsioonideks (nt kromatograafi abil)
4. identifitseerimine – käitumist mõjutavate komponentide leidmine (GC-MS). Vajab võrdlusmaterjali. Veendumaks õigete komponentide äratundmises, võib lisada käitumistestid.
5. käitumiskatsed – parimal juhul nii laboris kui looduses.

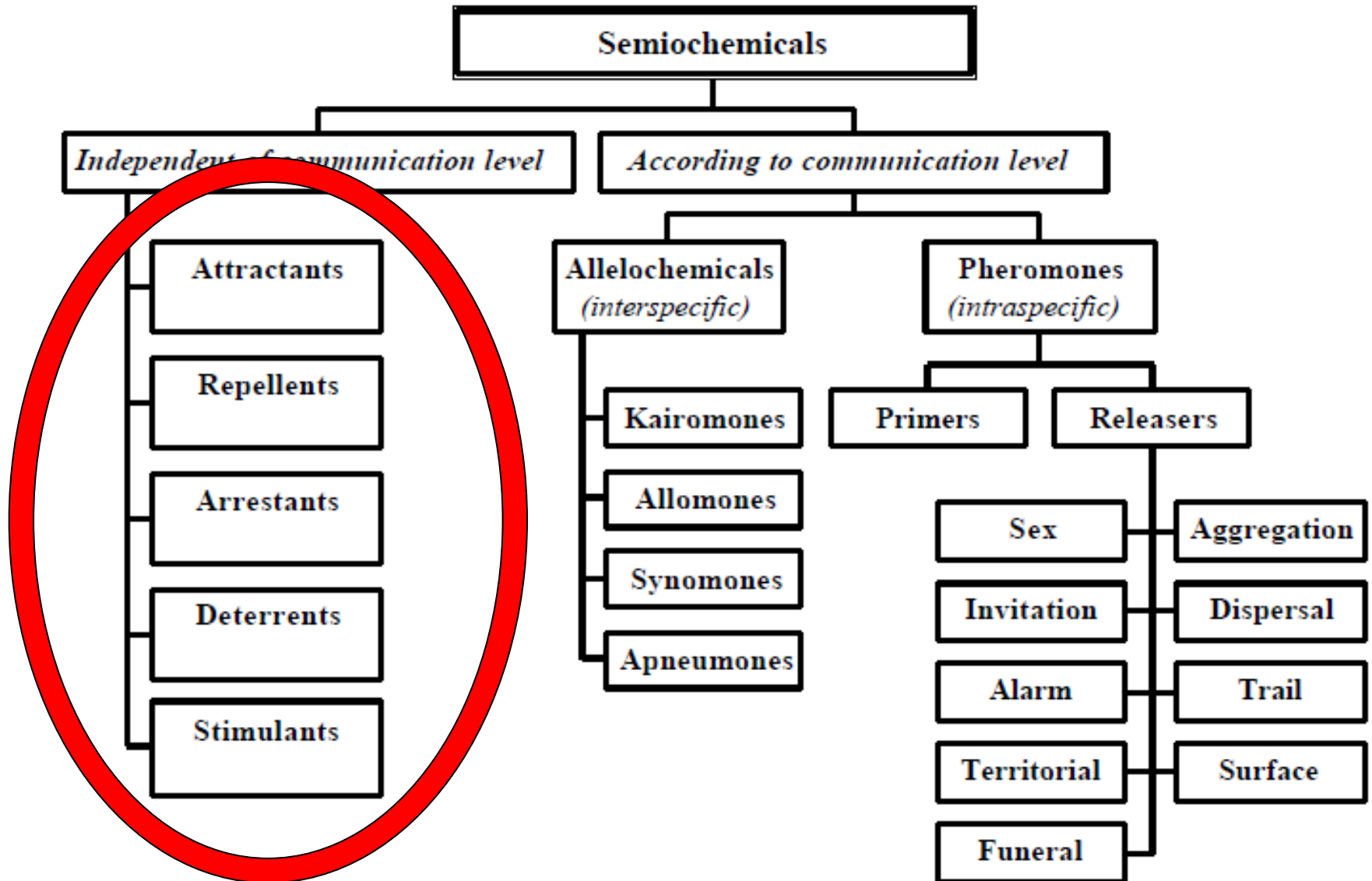
Keemilise kommunikatsiooni eelised

- Liiguvad maastikul ilma, et peegelduks objektidelt, nii et saatja saab ise jääda varjatuks
- Neid saab kasutada pimedas
- Mittelenduvad kemikaalid on suhteliselt kauapüsivad (nt kodumarkerid)
- Lenduvad signaalkemikaalid katavad pikki vahemaid
- Suhtlemist saab kalibreerida väga kitsale ja intiimsele tasemele (kui signaali vastuvõtja on häälestatud väga spetsiifilise kemikaali tajumisele)
- MIINUSED:
 - Tootmine on kulukas
 - Levivad aeglaselt

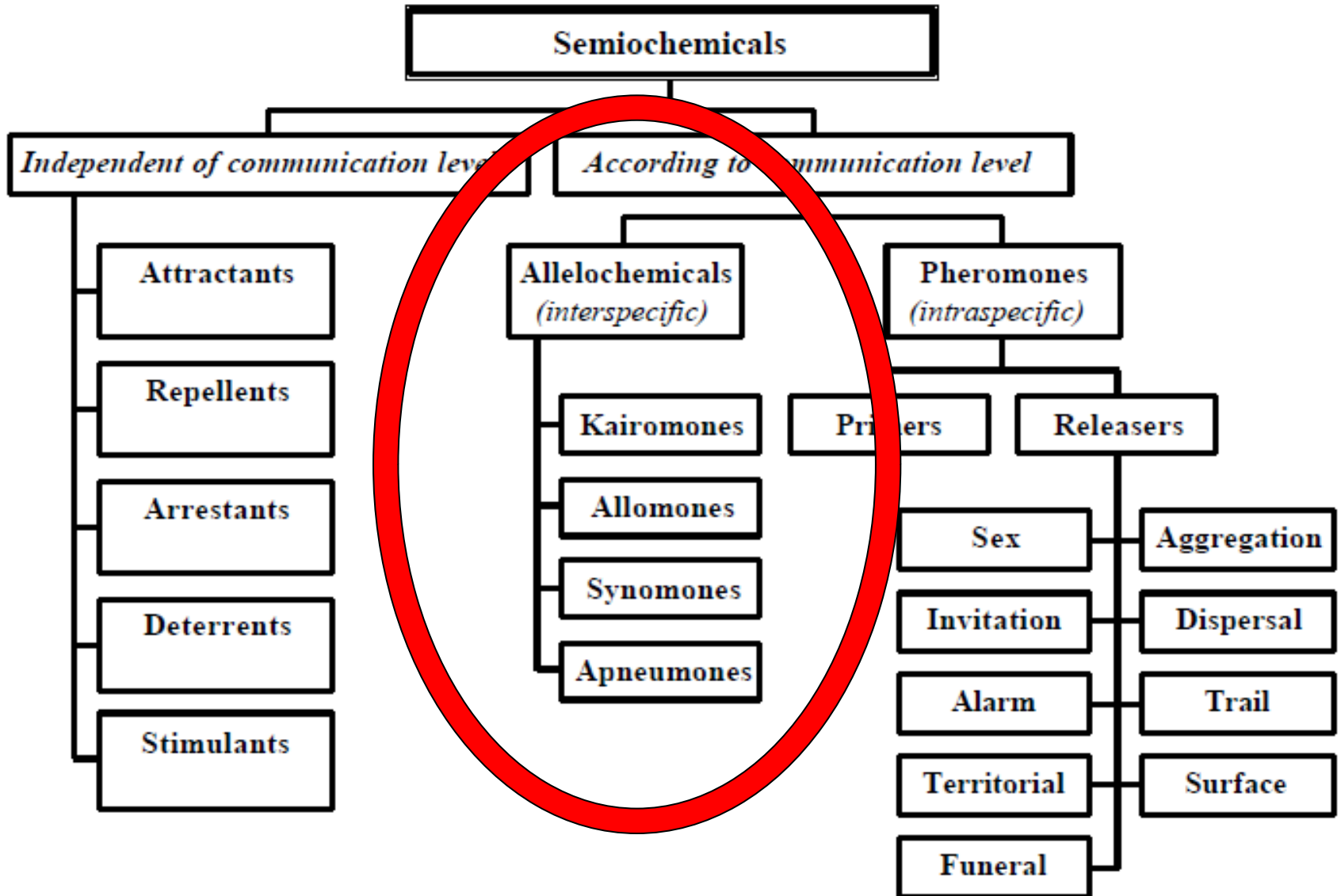
Terminid



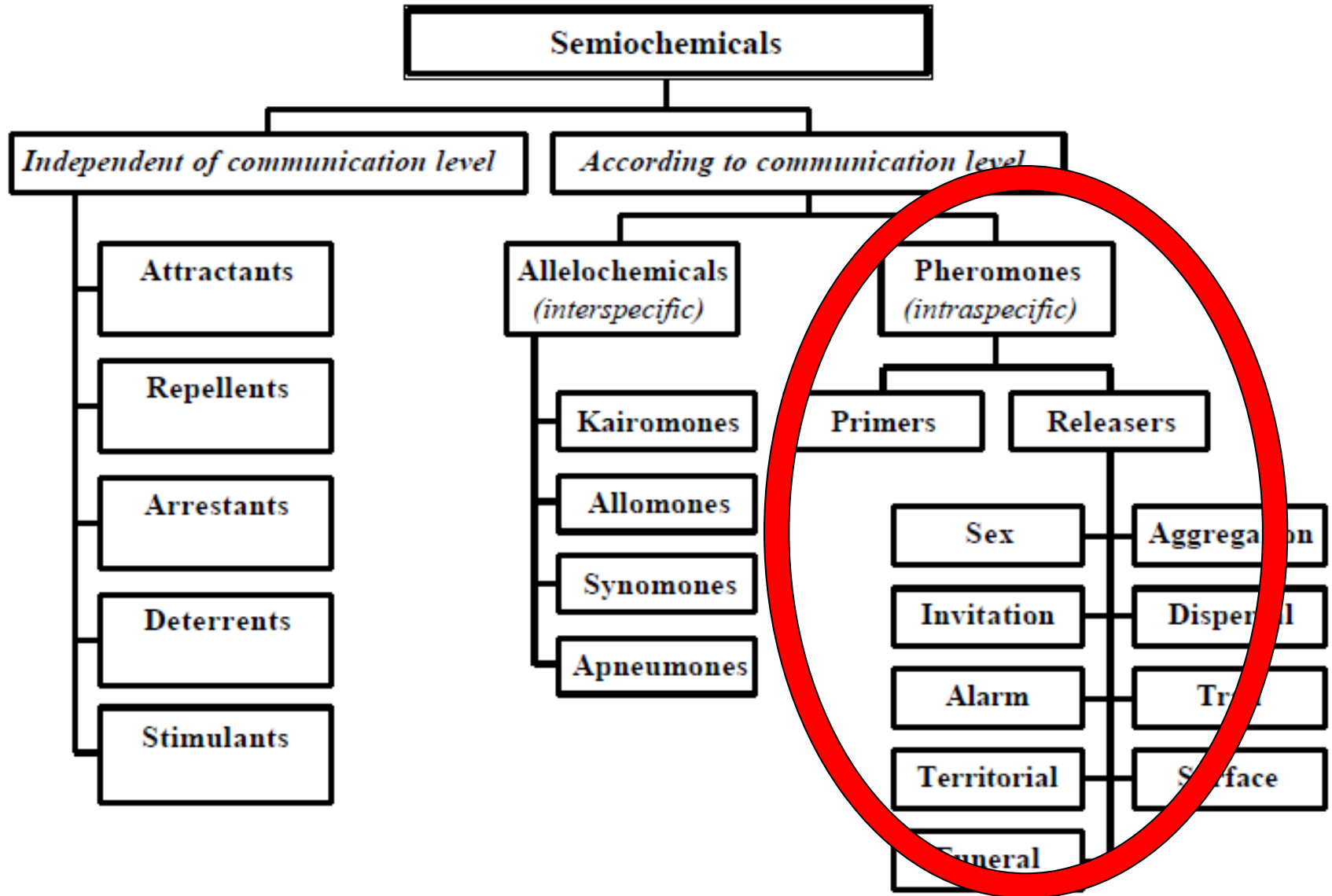
Terminid



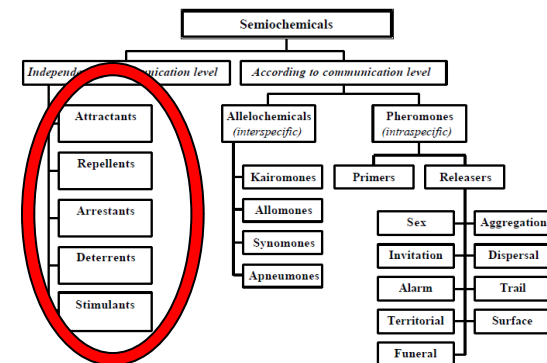
Terminid



Terminid

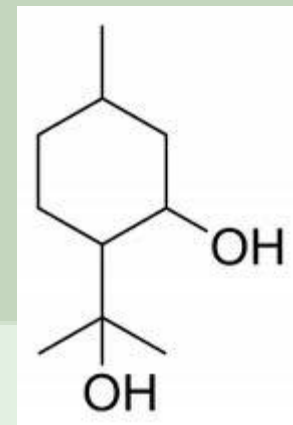


Terminid



- Atraktant – vastuvõtja (nt putukas) liigub signaali saatja suunas
- Repellent – vastuvõtja liigub signaali allikast eemale
- Arestant – põhjustab agregatsiooni, kogunemist
- Deterrent – vähendab vastuvõtja toitumist, munemist
- Stimulant – kutsub esile toitumist, paaritumist või munemist

Näiteid:



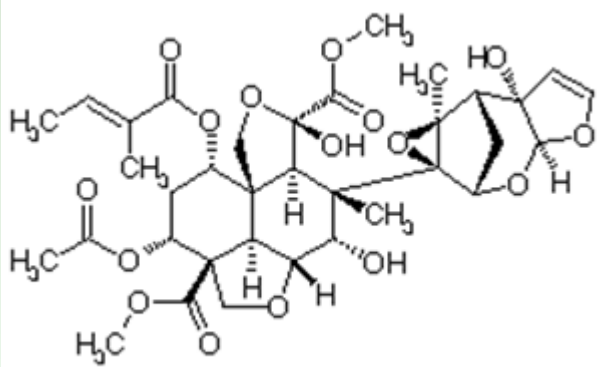
- Säase **repellent**:
 - PMD ehk p-methane-3,8-diol (eukalüpti õldest valmistatud)
 - **atraktandiks** CO₂, kehasoojus
- Kuusenoorendike kaitse põtrade eest:



Näiteid:



- Tõruvähkidel (*Balanus* sp) **arestantidena** glükoproteiinid
- Toitumist vähendavad **deterrendid**:
 - vähelenduvad – putukas peab maitstva



Azadirachtin

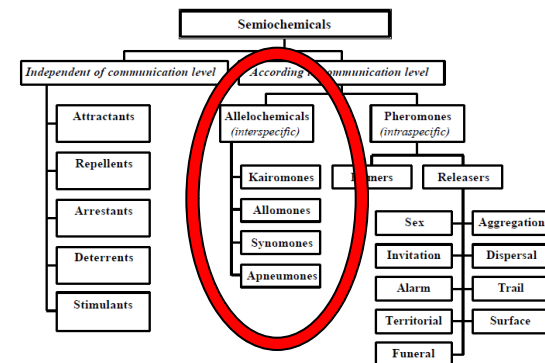


Näiteid:

- **Stimulandid** kutsuvad esile toitumist, paaritumist või munemist:
 - Nt fagostimulandid (toitumine)
 - maitsetugevdaja naatriumglutamaat
- methyl propyl disulfide – *Delia antiqua* (sibulakärbes)



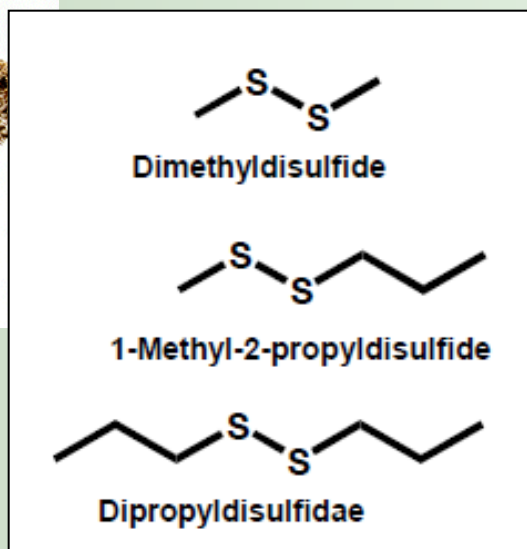
Allelokemikaalid



- vahendavad informatsiooni erinevate liikide vahel (liikidevaheline kommunikatsioon)
 - allelon (kr.k) - üksteist
- Jagunevad sõltuvalt sellest, kes kasu saab signaalist:
 - **Kairomoonid** – signaali vastuvõtja saab kasu
 - **Allomoonid** – signaali saatja saab kasu
 - **Sünamoonid** – mõlemad saavad kasu
 - **Apneumoonid** – signaal pärineb eluta objektilt

Näiteid:

- *Plutella xylostella* (diamondback-moth) eritab kolme tüüpi disulfiidseid **kairomoone**, mis meelitavad ligi parasitoidi (*Diadromus pulchellus*):



Näiteid:



- Enesekaitseks kasutatavad näärmed eritavad **allomoone**

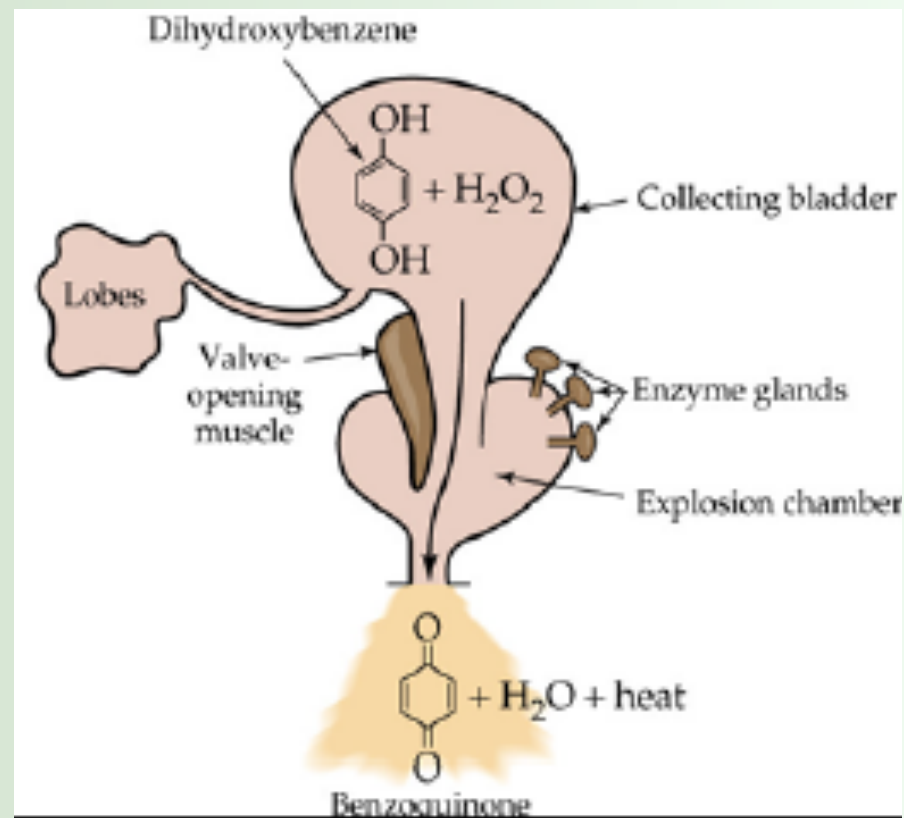
Hüdrokinoonid ja vesinik peroksiid



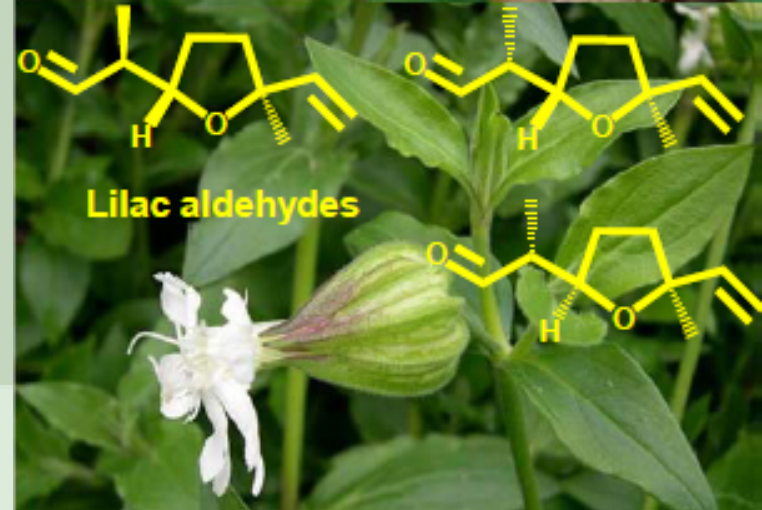
+ katalaas
+ peroksidaas



p-kinoon



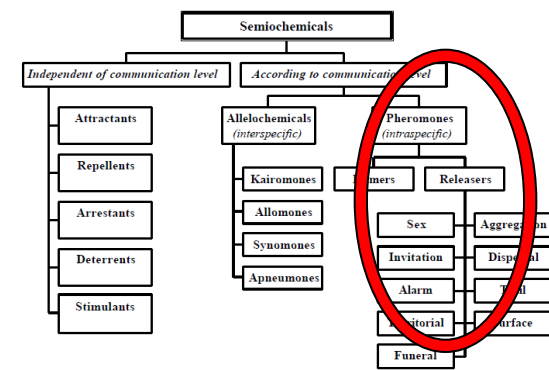
Näiteid:



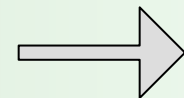
- Klassikaline näide **sünamoonidest** on putuktolmlejad taimed
- Parasitoidile (*Venturia canescens*) on atraktandiks kaerahelveste lõhn, sest see on keskkond milles peremeeste larvid toituvad. Kaerahelveste lõhn on selles süsteemis **apneumoon**.



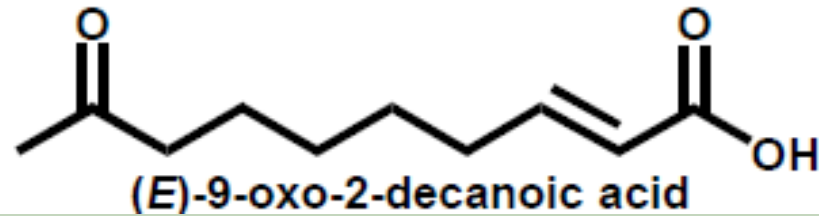
Feromoonid



- **Feromoonid** on ained, mis eritatakse kehast väljapoole ning mille vastuvõtjateks on keegi teine samast liigist, kellel seeläbi vallandub teatud käitumine (Karlson and Butenadt, 1959; Karlson and Lücher, 1959).
- 1963. aastal jagasid Wilson ja Bossert feromoonid kaheks: **praimer-feromoonid** ja **vabastavad feromoonid**
- Praimer-feromoonid on kemikaalid, mis indutseerivad indiviidides pikaajalisi füsioloogilisi muutuseid. Nt mesilaste kuninganna näide



Primer-feromoonid

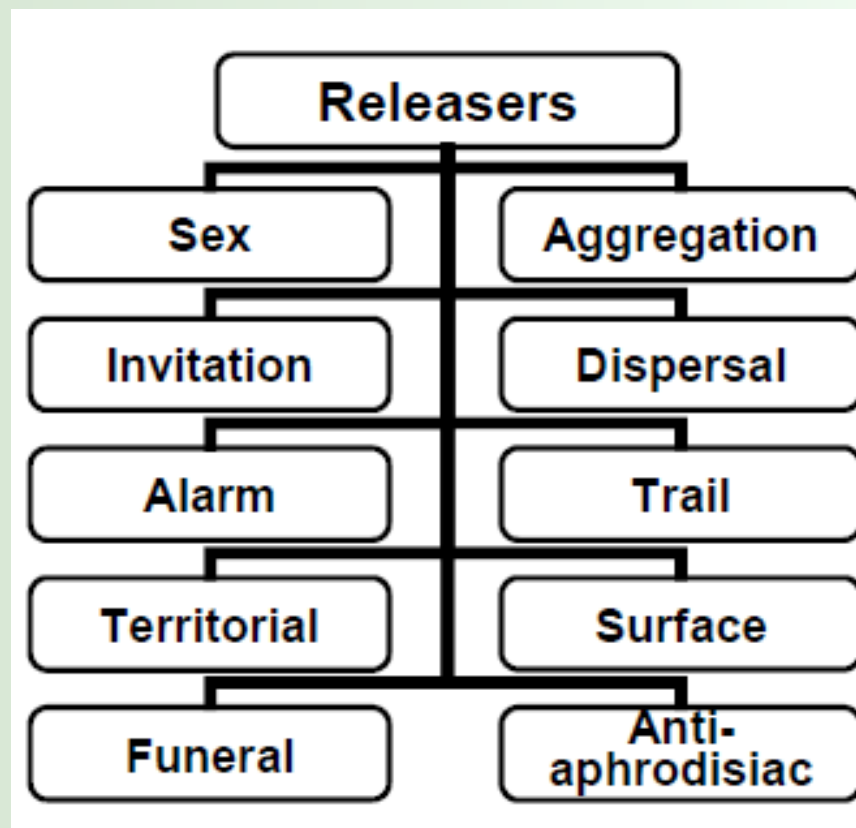


- *Apis mellifera*: kuninganna mandibulaarnäärme eritis talitleb primer-feromoonina – sellega nt inhibeeritakse tööliste sigimisaktiivsust ja hoitakse koloonia struktuur kontrolli all.



Vabastavad feromoonid

- **Vabastavad feromoonid** on kemikaalid, mis stimuleerivad vastuvõtval indiviidil kohese käitumusliku vastuse.
- Väga lai "tööspekter", üks huvitavamaid semiokemikaalide rühmasid. Nõ klassikalised feromoonid.



Suguferomoonid

- **Suguferomoonid** on kemikaalid, mis vabastatakse ühe isendi poolt selleks, et reklaamida vastassugupoolele enda kohaloleku kohta ja meelitada vastassugupool edukasse paaritumisse.
- Jagunevad:
 - Pika vahemaa tagant töötavad – kutsuvad vastassugupoolt potentsiaalseks paaritumiseks
 - Lähidistantsidel töötavad – partneri ettevalmistamine paaritumiseks, kosjakäitumine - **aphrodisiac**

Suguferomoonid



- Liblikatel (*Lepidoptera*) on suguferomoonid kõige paremini uuritud. Praeguseks on liigispetsiifilised suguferomoonid kirjeldatud enam kui 500 liigil (www.pherobase.com).
- Näärmed:
 - Tagakeha 5. lülil või 7.-8. lülil.

Chorestoneura fumiferana emasloom:
8 – 8. keha jätke, g – nääre, v – keha
tipusegment, genitaalide osa.



Suguferomoonid

- Eritatav feromooni hulk on reeglina väga väike: *Grapholitha molesta* (fruit moth) 8,5 ng/h.
"Rekordiks": *Holomelina lamne* (arctiid moth): 350 ng/10 min.
- Feromooni leviku sõltuvus kehaasendist.
- Signaali spetsiifilisust saab rõhutada komplekssete signaalidega (segud mitmetest feromoonidest)



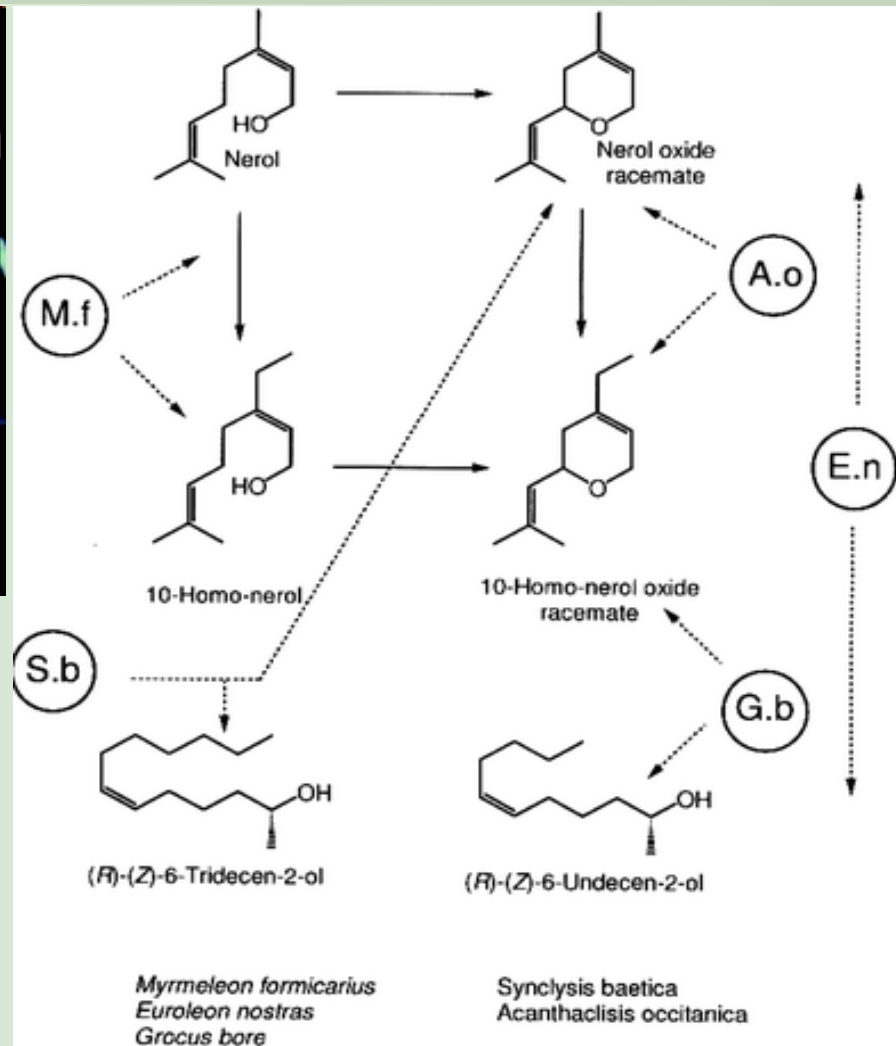
Grapholitha molesta (fruit moth)

Kahekomponentsed liigispetsiifilised suguferomoonid võrkstiivalistel

Sipgelgakiillased
(Myrmeleontidae)

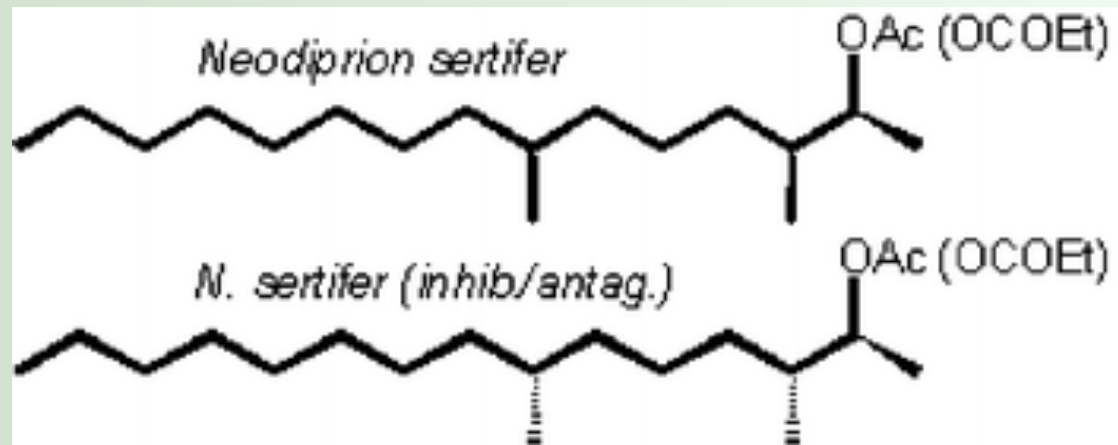
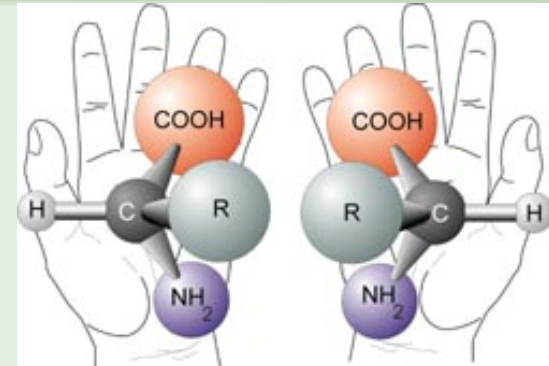


*Joonis: kuus erinevat feromooni
komponenti (pärinedes kahest
biosünteesi rajast: atsetogeensest
ja isoprenoidsest) moodustavad
paari kaupa kombineerides
liigispetsiifilise feromooni
kompleksi viiele putukaliigile.*



Suguferomoonide spetsiifilisus võib seisneda kiraalsuses (käelisuses)

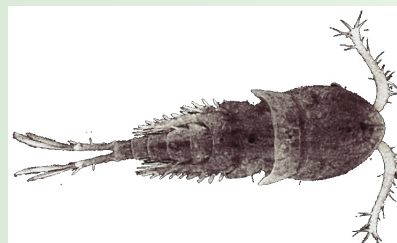
- Nt Männi-lehevaablastel on uurijad avastanud mitmeid stereoisomeere, mis kõik annavad tugevaid käitumist mõjutavaid signaale.
- Ühel juhul (*Neodiprion sertifer*) kandis struktuurne analoog-feromoon endas hoopis inhibeerivat signaali.



Suguferomoonid



- Isane merisutt suudab emase 65 meetri kauguselt allavoolu kohale meelitada:
 - sapihapped: *7a, 12a, 24-trihydroxy-5-acholan-3-one 24-sulfate*
- Kaladel erinevad steroidid, prostaglandiinid ja pregneenid, mida eritatakse vette kloaagi kaudu
- Pindkile külge nakkuvad gükoproteiinid jätavad emaste aerjalaliste "kiiluvette" jälje, mis kestab kuni 31 s.



Alarm-feromoon



- Liigi (liigirühma) spetsiifiline
- Liikumisaktiivsuse suurenemine, ka rünnak
- Kalad, kiletiivalised, imetajad (nt skunk)
 - Kaladel teada alarmaine reservuaarid, kuid aine tuvastamata
 - Mesilastel koosneb 40 koostisosast (nt atsetaadid). Vabastatakse nõelamise käigus tööliste poolt, et hoiatada kaaslasi. Järgneb kaitsereaktsioon.

Homing-effekt, kodu-markerid



- Pinnale kinnituvad feromoonid, pikaajalised, sotsiaalsetel loomadel
- Lõhilaste *homing*:
 - pH, sapi markerid, tanniinid, toitainete dünaamika
- Latikas, särg jt Karpkalalised – *homing* efekt Emajões
- Rajamärgised sipelgatel, teekond toiduni, aromaatsed molekulid.
- Sapihapped koduterritooriumi tähistamiseks:
 - Korallriffide kalad
 - võldas *Cottus cobio*



“Surma lõhn”



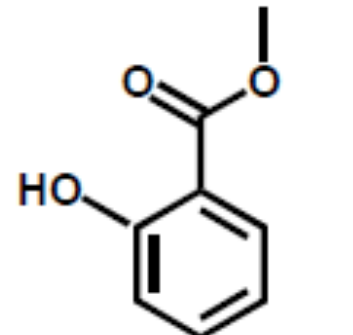
- Kaaslase surma keemiline tajumine võib viia ökosüsteemis kaskaadsete tulemusteni
 - Angerjate suremine Võrtsjärves
- Meretaimed vastavad ründajatele keemilise kaitsega
- Merekarbid katkestavad vee filtreerimise-pumpamise, kui kiskja ülesvoolu samast liigist toitub
- Termiididel rasvhapped ja nende derivaadid. Surnud kaaslane viiakse kolooniast välja. Kui elus tööline on kaetud “surnu lõhnaga”, siis käitutakse temaga nagu surnuga.

Antiafrodisiaakum

- Keemiline lõhnamärgis, mida kasutatakse nt isaste putukate poolt. Kopulatsiooni käigus märgistatakse sellega emane, et teisi isaseid eemale peletada
 - Vähendab spermakonkurentsi
 - Säästab tulevase ema energiat (munemine jm)
 - Vähendab võõraste isaste "tühja tööd"



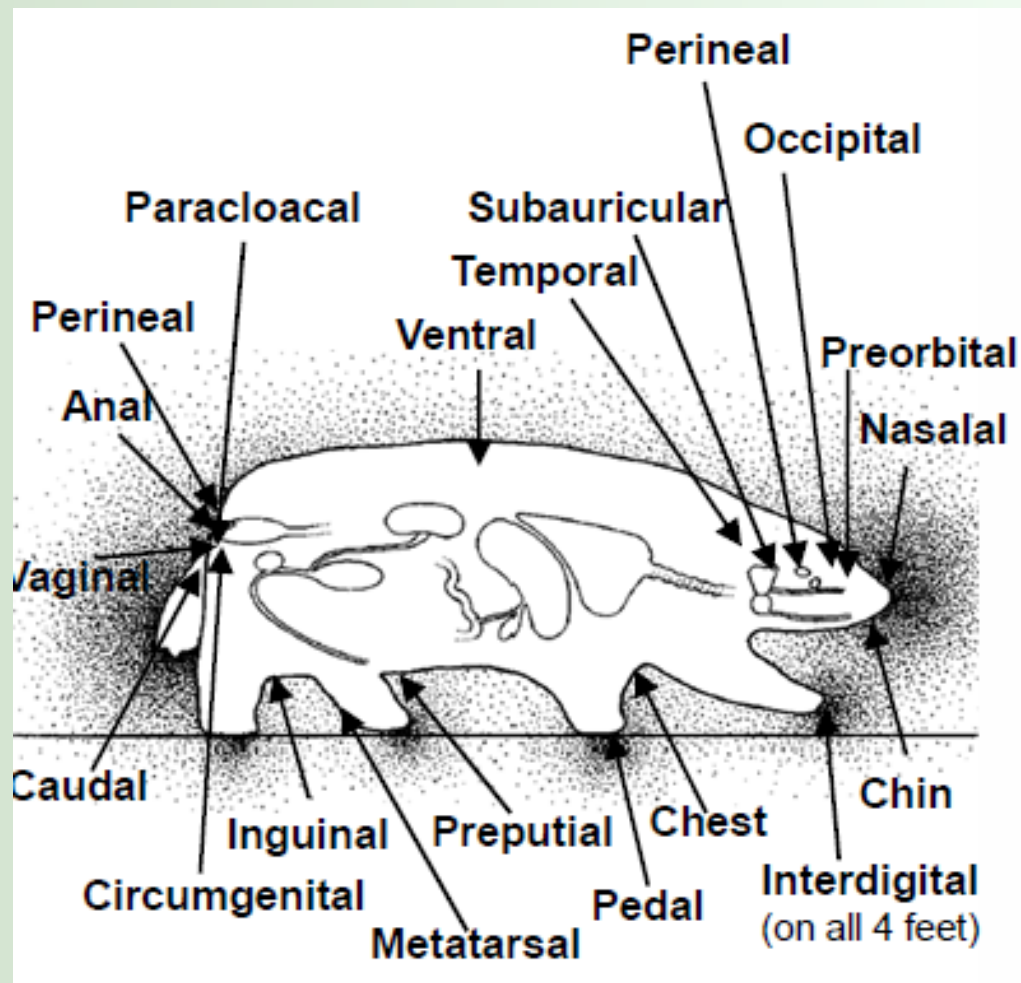
Pieris napi



Methyl-Salicylate

Imetajate feromoonid

- Imetajate feromoonide sekretsioon:
 - uriin,
 - vaginaalnäärmete eritised,
 - ekskrementid,
 - sülg,
 - piim
- Näärmed:

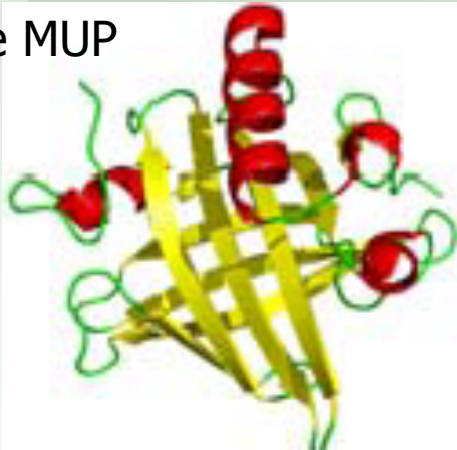


Mustsaba hirv

(Odocoileus columbianus)

- Karja ja isendite ära tundmine:
 - Uurinis paiknevad valgud (MUP – major urinary proteins)
 - Sünteesitakse maksas ja eritatakse uriini kaudu, edastab sotsiaalset infot, ka isendi geneetilist identiteeti

Hiire MUP



Praktilised kasutusala

- Seotud eeskätt põllumajanduse ja putukatõrjega
- Ka nt koerte-kasside paaritamine või antiafrodisiaakumid kastreerimise alternatiivina
- Pestitsiidide kasutamine:
 - 1940-... kloor-orgaanika
 - 1950 esimesed toksilisuse nähud inimestel ja keskkonnas
 - 1962 Rachel Carson "Silent Spring"
 - 1960-1990 resistentsed putukad, kloor-orgaanika vähendamine
 - Tänapäev – keskkonnasõbralike putukatõrjevahendite



IPM

Intergated Pest Management

- Mikrobioloogilised pestitsiidid, looduslikud vaenlased, hormoonide kasutamine, looduslikud insektitsiidid, **semiokemikaalide kasutamine.**
- Semiokemikaale kasutatakse:
 - Kahjurite monitooring
 - Masspüük arvukuse vähendamiseks
 - Paaritumise takistamine
 - Lõksud (atraktant koos insektitsiidiga)
 - Meelitamine kultuurtaimedest eemale

Lõksude tüüpe



Delta trap
For monitoring moths



Diamond Trap
Diamond traps are used for monitoring moths in storage areas



Wing Trap
Wing traps are used for short-term monitoring of some moth species.



Funnel or Unitrap
These are preferred over other designs for long-term monitoring and mass trapping of moths in the field and in storage areas.



Cylinder Trap
These traps are designed for bark beetles



Boll Weevil Trap
These traps are specifically designed for monitoring and mass trapping cotton boll weevil



Vertical Yellow Sticky trap. Olive flies are monitored with combinations of traps both with and without pheromone lures.



Slug X Trap
For Slugs and Snails



Red Ball Trap
For apple maggot flies



Pitfall Trap
For walking insects

Potentsiaalseid kasutusvõimalusi...

- Kalatrepid (Sindi pais)
- Metsloomade lõksud (ilvese kaelustamise projekt Soomaal)
- Inimferomoonid?
 - Inimene vähe uuritud