

Hyönteisten valobiologian ja visuaalisen ekologian kasvinsuojelulliset sovellukset

Irene Vänninen, Delia Pinto ja Anne Nissinen

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Tiivistelmä

Valobiologia on biologian haara, joka tutkii valon vaikutuksia eliöihin. Visuaalisella ekologialla tarkoitetaan eliöiden näköaistiin perustuvia vasteita ympäristön optisiin ärsykkeisiin ja siitä määräytyvää käyttäytymistä. MTT:ssa on osana ympärivuotisen kasvihuoneviljelyn tutkimuksia perehdytty hyönteisten valobiologiaan ja sovellettu tuotettua tietoa ansarijauhiaisten torjunnan tehostamiseen tekovalotetuilla tomaatti- ja kurkkuviljelmillä.

Valobiologisia ilmiöitä ovat mm. fotosynteesi, näkö, eliöiden vuorokausi- ja vuodenaikaisrytmit, bioluminesenssi sekä UV-säteilyn vaikutukset eliöihin. Valon määrä, laatu (aallonpituusjakauma) ja päivänpituus vaikuttavat hyönteisten migraatioon ja suunnistautumiseen, kehitysnopeuteen ja –biologiaan ja lisääntymiseen. Valoreseptoreiden (verkkosilmät, pistesilmät) kautta vastaanotetut visuaaliset signaalit ohjaavat hyönteisten suunnistautumista, ravinnon ja parittelukumppaneiden löytämistä ja luontaisten vihollisten välttämistä. Sekä valon aallonpituus että voimakkuus vaikuttavat fototaksisiin eli eliön suuntautumiseen kohti ärsykettä tai siitä pois, missä on myös kyse valon suorasta vaikutuksesta hyönteisiin.

Valojaksoisuus vaikuttaa ratkaisevasti hyönteisten aktiivisuuteen, saalistukseen, lisääntymiseen ja vuodenaikaisrytmeihin. Valojakso sekä valon laatu vaikuttavat diapaussin dynamiikkaan sekä migraatioon taipuvaisten yksilöiden osuuteen. Valon määrällä on silläkin vaikutuksia sekä hyönteisten käyttäytymiseen että biologiaan. Valon määrä ja laatu (etenkin UV-aallonpituudet) sekä valojaksoisuus vaikuttavat myös kasvien primaari- ja sekundäärimetaboliaan sekä puolustusrakenteisiin. Niiden kautta valo vaikuttaa epäsuorasti sekä kasvintuhoojiin että niiden luontaisiin vihollisiin ja siten kasvivioitusten määrään.

Hyönteisten pyydystäminen valoansoilla ja tarkkailu väriansoilla on yksi visuaalisen ekologian sovellus. Hyönteisten suunnistautumista isäntäkasveille voidaan häiritä poistamalla suunnistautumiselle välttämättömät aallonpituudet kuten UV-säteily spektristä tai mahdollisesti antamalla kasveille vain fotosynteesille välttämättömiä aallonpituuksia. Hyönteisten elinympäristön valojakson pituutta tai aallonpituusjakaumaa säätelemällä voidaan vaikuttaa diapaussiin kasvinsuojelua edistävästi. Suomen kasvihuonetuotannossa valobiologian kasvinsuojelullisesti tärkeimmät sovellukset ja haasteet liittyvät fototaksisiin hyväksikäyttöön hyönteisten käyttäytymisen manipuloinniseksi, päivänpituuteen ja aallonpituusjakaumaan sekä epäsuoriin valoilmaston vaikutuksiin kasvien kautta. UV:n vähäisyys luonnonvalossa talvikuukausina yhdistyneenä suurpainenaatriumlamppujen UV-köyhään spektriin luo tilanteen, jossa kasveissa ei muodostune UV-valossa indusoituvia puolustusaineita. Kohdistettuja UV-käsittelyiden antaminen kasveille voisikin olla yksi keino lisätä vihanneskasvien hyönteispuolustuksen vahvuutta, mutta edellyttää spesifisten kasvi-hyönteislajiparien vuorovaikutuksen tutkimusta eri UV-valoilmastoissa.

Asiasanat: hyönteiset, Insecta, valobiologia, visuaalinen ekologia, kehitysnopeus, käyttäytyminen, fototaksismi, epäsuora puolustus, UV-valo, kasvihuoneviljely, kasvinsuojelu.

Johdanto

Valoilmastoa säädetään kasvihuoneissa pääasiassa kasvien fotosynteesitarpeiden mukaisesti, mutta viimeisen vuosikymmenen aikana sitä on muunneltu myös kasvinsuojelullisiin tarkoituksiin. Valoilmastoa voidaan säädellä kahdella tavalla: käyttämällä auringonsäteilyä valikoivasti läpäiseviä katteita kasvihuoneissa (Espí et al. 2006) tai vaikuttamalla säteilyn määrään ja laatuun sekä päivänpituuteen lamppujen avulla. Suomessa on valotettua kasvihuonetuotantoa noin 68 ha (tomaatti 25 ha, kurkku 18 ha, salaattit 21 ha, ruukkuvihannekset 4 ha) (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Tekovalolähteinä toimivat suurpainenatriumlamput, joiden asennusteho on korkeimmillaan jopa 300 W/m² ja fotonien määrä (valon voimakkuus) mikromooleina neliometriä kohti sekunnissa suunnilleen saman verran (Moe et al. 2006). Tekovalojen avulla kurkku- ja tomaattikasvustoihin luodaan 16-22 tunnin päivänpituus (Moe et al. 2006, Hovi-Pekkanen & Tahvonen 2008), ja ruusulla on kokeiltu jopa 24 tunnin päivänpituutta (Moe et al. 2006). Tekovalotukseen käytetään sekä kasvuston yläpuolelle asennettuja päällivaloja että kasviritvien väleihin laskettavia välivaloja, joista päällivalojen valoteho on yleensä aina suurempi (Hovi-Pekkanen & Tahvonen 2008).

Valotetuissa kasvustoissa sekä kasvit että niillä elävät kasvintuhoojat ja viimeksi mainittujen luontaiset viholliset elävät olosuhteissa, jollaisiin ne eivät ole sopeutuneet luontaisen evoluutionsa myötä. Suomen talvessa viikkojen 49 ja 5 välillä valtaosa kasvien saamasta säteilystä on peräisin lamppuista (ks. Hovi-Pekkanen & Tahvonen 2008). Suurpainenatriumlamppujen spektri on painottunut punaiseen (51 % kokonaissäteilystä) sekä keltavihreään (40 %), ja vain 9 % niiden emittoimasta säteilystä on sinistä valoa (Tazawa 1999). Syksy-, talvi- ja kevätkuukausien aikana sekä kasvit että niillä elävät selkärangattomat eläimet ovat siis aivan erilaisessa valoilmastossa kuin kesällä. Myös Suomen kesän päivänpituusolosuhteet poikkeavat niistä, joihin useimmat kasvihuonevihanneiden kasvintuhoojista ja niiden torjuntaeliöistä ovat sopeutuneet.

Kasvien ja eläinten valobiologia ja visuaalinen ekologia voivat siis tekovalotettujen kasvustojen valoilmaston luonteen takia poiketa normaalista, millä voi olla sekä negatiivisia että positiivisia vaikutuksia kasvinsuojeluun. Valoilmaston ja visuaalisen ekologian kasvinsuojelullisten mahdollisuuksien kartoittamiseksi tehtiin kirjallisuustutkimus, jolla etsittiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: 1) Kuinka valo ja sen eri aspektit (määrä, laatu, valojakso) vaikuttavat hyönteisten ja niistä erityisesti jauhiaisten ja sen torjuntaeliöiden biologiaan, fysiologiaan ja käyttäytymiseen? 2) Millaisia suoria ja epäsuoria vaikutuksia valoilmastolla on tuho- ja hyötyhyönteisiin ja erityisesti ansarijauhiaisiin (*Trialeurodes vaporariorum*), jotka ovat tekovalotettujen kasvustojen yleisimpiä kasvintuhoojia? 3) Mitkä ovat suurimmat tietoaaukot koskien jauhiaisten ja niiden torjuntaeliöiden valobiologian ja visuaalisen ekologian kasvinsuojelullisia sovelluksia ja miten tutkimusta kannattaa sen perusteella suunnata? Tekovalolähteistä otettiin tarkastelun kohteeksi suurpainenatriumlamput sekä LED-valot. LED-valojen arvioidaan niiden energiatehokkuus- ja teknisten ominaisuuksien vuoksi tulevan vähitellen käyttöön ja jopa syrjäyttävän suurpainenatriumlamput auringonsäteilyä täydentävinä tai korvaavina valonähteinä (Massa et al. 2008, Morrow 2008).

Valon suorat vaikutukset hyönteisiin

Fototaksismi

Fototaksismi tarkoittaa hyönteisten suunnistautumista kohti kiinteää valolähdettä, jonka houkuttelevuuteen vaikuttaa sekä aallonpituus että valon määrä (Jander 1963). Suurpainenatriumlamput eivät ole houkuttelevuudeltaan eräiden muiden lampputyypin veroisia (esim. Narisada & Schreuder 2004) johtuen siitä, että ne eivät emittoi kaikkia niitä aallonpituuksia, eivätkä etenkin sinistä tai UV-valoa, joihin monet hyönteiset voimakkaasti reagoivat (ks. taulukko 1). Siitä huolimatta lamput houkuttelevat jauhiaisia ja niiden loispistiäisiä (*Encarsia formosa*, *Eretmocerus eremicus*), ehkä myös jauhiaisten petoluteita (*Macrolophus*), ja verottavat niiden populaatiota valoansojen tavoin. ”Lamppuansojen” merkitystä hyönteisten populaatiokehitykselle kasvihuoneissa ei ole kvantifioitu, ja se riippuu todennäköisesti hyönteislajista ja vuorokauden- ja vuodenajasta. Fototaksismiin perustuvia kasvinsuojelullisia sovelluksia ovat valoansat sekä värilliset liima-ansat. Jälkimmäisiä käytetään hyönteisten määrän

tarkkailuun ja vähentämiseen ja niiden houkuttavuutta voidaan tehostaa hyönteisiä spesifisesti houkuttavilla LED-valolähteillä (esim. Simmons et al. 2004).

Taulukko 1. Auringonsäteilyn aallonpituusjakauman kasveille ja hyönteisille tärkeät osa-alueet.

Spektrin osa	Väri ja aallonpituus	Kasvien ja hyönteisten reaktiot eri aallonpituuksiin
Ultravioletti (UV)	UV-C: < 280 UV-B: 280-315 UV-A: 315-400	Alle 315 nm:n säteily on vahingollisista hyönteisten valoreseptoreille ¹ . UV-B on vahingollista myös kasveille, ja kasvit suojautuvat sitä vastaan biokemiallisesti ² . Samat yhdisteet voivat suojata kasveja myös hyönteisiltä ³ . Eri kasvilajien UV-herkkyys vaihtelee ⁴ . UV-B vaikuttaa joihinkin hyönteisiin ⁵ ja punkkeihin ⁶ myös suoraan haitallisesti.
Fotosynteettisesti aktiivinen säteily (photosynthetically active radiation, PAR)	sininen 400-500 vihreä 500-560 keltainen 560-590 oranssi 590-630 punainen 660-700	Useimpien hyönteisten silmät reagoivat aallonpituuksiin 300-650 nm ⁷ . Reagointihuippu riippuu lajista. Ansarijauhiaisilla on bikromaattinen näkö: ne reagoivat voimakkaimmin vihreään-keltaiseen (460-570 nm), ja UV-A:han (340-400 nm) ⁸ . Trikromaattisilla hyönteisillä on kolme reagointihuippua: 350 (uv), 450-520 (sininen/sinivihreä) ja 520-600 nm (vihreä-keltainen) ⁹ . Kasvien klorofylli-a pigmentti absorboi eniten sinistä (400-500 nm) ja klorofylli-b punaista (600-660 nm) valoa ⁴ , mutta voimakkaassa valossa vihreä (550 nm) absorboituu hyvin sinisen ja punaisen muuttuessa lämmöksi ¹⁰ .
Kaukopuna (far red FR) Lähes infrapuna (near infra red NIR)	FR 700-800 NIR 800-3000	Yli 750 nm:n säteilyssä on liian vähän energiaa, jotta se saisi aikaan kemiallisen reaktion hyönteisten valoreseptoreiden pigmentissä ¹¹ . Kasvien fotomorfogeneettiselle kehitykselle punaisen ja kaukopunaisen säteilyn määräsuhde (P:FR) on oleellinen ¹² .

¹ Nation 2002; ² Kakani et al. 2003; ³ Treutter 2006; ⁴ Lambers et al. 2008; ⁵ Mazza et al. 1999; ⁶ Ohtsuka & Osakabe 2009; ⁷ Briscoe & Chittka 2001; ⁸ Mellor et al. 1997; ⁹ Skorupski et al. 2007; ¹⁰ Nishio 2000; ¹¹ Prokopy & Owens 1983; ¹² Moe 1997.

Valon laatu

Koska hyönteiset reagoivat voimakkaimmin kahteen tai kolmeen suppeaan aallonpituusalueeseen riippuen siitä, onko niiden näkö bi- vai trikromaattinen (Briscoe & Chittka 2001) (taulukko 1), hyönteisten käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa poistamalla niiden elinympäristöstä suunnistautumiselle tärkeät aallonpituudet kuten UV-säteily. Tämä tehdään aallonpituuksia valikoivasti läpäisevien kasvihuonekatteiden avulla (Antignus 2000, Raviv & Antignus 2004). UV-valon puuttuminen vaikuttaa onneksi enemmän tuohyönteisten, kuten jauhiaisten, suunnistautumista häiritsevästi kuin niiden torjuntaeliöihin (esim. Doukas & Payne 2007). UV-valon puute näkyy kuitenkin kimalaisten toiminnan häiriintymisenä valoviljelmillä talvikuukausien aikana (ks. Blacquièrre et al. 2006). Vastaavasti pelkkä punainen tai sininen valo tai niiden yhdistelmä häiritsee ansarijauhiaisten suunnistautumista lehdille lyhyeltäkin etäisyydeltä (Nissinen ym., julkaisematon). UV-valolla on myös suoria haitallisia vaikutuksia hyönteisiin ja punkkeihin (ks. taulukko 1), mikä selittää niiden hakeutumista lehtien alapinnoille. Valon aallonpituudella on vaikutusta myös hyönteisten ja punkkien diapaussin alkamiseen tai päättymiseen: vaikuttava aallonpituus riippuu tällöin hyönteislajista (esim. De Wilde 1962, Suzuki et al. 2008). Valon vääränlainen aallonpituusjakauma saattaa vaikuttaa myös petohyönteisten kuten jauhiaisluteiden (*Macrolophus*) kehitystä tai lisääntymistä heikentävästi, mutta tästä ei ole tutkimustuloksia olemassa.

Valon määrä

Aurinkoisena päivänä isojen kasvien kasvuston yläosien saama kokonaissäteily on jopa 1000 mikromoolia (umol) m⁻² s⁻¹, mutta keski- ja alaosissa enää 200 ja 40 umol ilman välivalotusta. Pilvisinä

päivinä vastaavat luvut ovat 200, 80 ja 10 umol. (Lambers et al. 2008). Tekovalotuksen avulla kasvuston (yläosien) saama valomäärä pyritään kurkulla ja tomaatilla pitämään vähintään 250-300 mikromoolissa neliometriä kohti sekunnissa (esim. Moe et al. 2006, Hovi-Pekkanen & Tahvonen 2008). Tähän pääsemiseksi valoja pidetään päällä myös pilvisellä säällä keväällä ja kesällä fotonien määrän painuessa tietyn rajan alapuolelle. Viime kädessä tavoitteena on pitää kasvustossa vallitseva valotaso tasaisena ympäri vuoden, mutta energian hinnan ja luonnonvalon määrän voimakkaan vuodenaikaisvaihtelun takia siihen ei tällä hetkellä kasvihuoneissa päästä.

Valon määrä vaikuttaa hyönteisten aktiivisuuteen ja liikkumiseen, lentohalukkuuteen, syömiseen, paritteluun ja jopa munamäärään ja munien kuolleisuuteen kuten etelänjauhiaisella (*Bemisia tabaci*), joka hyötyy korkeista valotehoista (Blackmer et al. 2002). Jauhiaisten loispistiäiset etsivät saalistaan tehokkaimmin kirkkaassa valossa (Zilahi-Balogh et al. 2006), ja talvisaikaan niiden tehon on todettu meidän olosuhteissamme heikenevän ehkä osin siitä syystä, että tekovalotetussa kasvustossa on niille liian vähän valoa (vrt. Barbosa & Frongillo 1979, Auger et al. 1999, Zilahi-Balogh et al. 2007). Tosin pistiäislajien välillä on eroja niiden aktiivisuudessa suhteessa valon määrään (Zilohi-Balogh et al. 2009).

Päivänpituus

Valoisan ajanjakson pituus vaikuttaa useisiin hyönteisten elintoimintoihin sekä käyttäytymiseen. Se määrää vuorokausi- ja vuodenaikaisrytmejä ja saalistusaktiivisuutta riippuen siitä, onko hyönteinen yö- vai päiväaktiivinen (Perdikis et al. 1999, van Laerhoven et al. 2003). Sillä on vaikutusta myös jälkeläisten määrään ja sukupuolten määräsuhteeseen, nuoruusasteiden kehitysnopeuteen ja aikuisten elinikään (Philogène and McNeil 1984. Jatkuessa valossa elävät ansarijauhiaiset munivat noin puolet vähemmän kuin normaalissa päivänpituudessa (Johansen 2008). Ero voi johtua jatkuvan valotuksen suorasta, osittain steriloiivasta vaikutuksesta jauhiaisiin tai kasvin vastustuskyvyn suurenemisesta jatkuvassa valotuksessa (vrt. Patterson et al. 1994). Tomaattikasvustojen pitkät päivittäiset valojaksot hidastavat jauhiaisluteiden kehitystä munasta aikuiseksi (Pinto ym., julkaisematon). Ympärivuotisesti pitkänä pidettävä päivä saattaa myös alentaa tämän pimeäaktiivisen petoluteen (ks. Perdikis et al. 1999) vuorokautista saalistustehoa. Jauhiaiskiilukaisen loisintaa pitkä päivä sen sijaan edistää. Päivänpituus määrää monilla hyönteisillä diapaussin indusoitumisen ja purkautumisen. Jauhiaisia saalistavista luteista erällä on todettu tietyn kriittisen päivänpituuden indusoima diapaussi (Gillespie & Quiring 2005). *Macrolophus*-luteilla diapaussia ei kuitenkaan näyttäisi olevan lyhyessäkin päivässä (Pinto et al., julkaisematon).

Valon epäsuorat vaikutukset hyönteisiin

Valo vaikuttaa epäsuorasti hyönteisiin niiden isäntäkasvien kautta. Valon määrä ja laatu voivat muuttaa kasvin lehtipinnan kovuutta sekä pintavahojen ja -karvojen (trikomien) koostumusta tai rakennetta. Näillä puolestaan on merkitystä herbivorien ravinnonottoon, liikkumiseen ja niiden luontaisten vihollisten toimintaan (esim. Nihoul 1993, Kennedy 2003). Valon laatu ja määrä vaikuttavat sekä kasvien primääri- että sekundäärimetaboliaan. Varjossa kasvavat kasvit ovat tavallisesti parempaa ravintoa herbivoreille kuin suorassa auringonpaisteessa kasvavat (Roberts & Paul 2006). Voimakkaassa valossa kasvaneissa kasveissa indusoituu enemmän sekundäärisiä aineenvaihduntutuotteita kuin varjossa kasvaneissa, ja monet ko. aineista toimivat myös puolustusaineina herbivoreja vastaan. Tämä on todettu mm. tomaatilla (Kennedy 2003). Voimakas valo edesauttaa myös kasveista herbivorivioitusten seurauksena indusoituvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tuotantoa, joiden avulla herbivorien luontaiset viholliset löytävät tiensä tuhoajien vaivaamille kasveille (Gouinguené and Turlings 2002, von Dahl et al. 2006). UV-valon kasveissa aikaansaamat biokemialliset muutokset eivät kuitenkaan välttämättä aina ole samanlaisia kuin millä kasvit puolustautuvat herbivoreja vastaan (esim. Kühmann & Muller 2009a,b).

Kasvihuonekurkun UV-herkkyys on suurempi kuin tomaatin, mutta tiedossa ei ole, näkyykö tämä ero myös herbivorikestävyudessa altistettaessa nämä kasvilajit erilaisille UV-käsittelyille. Koska kasvihuoneissa on meidän leveysasteillamme talvisaikaan hyvin vähän UV-valoa, kurkku ja tomaatti saattavat olla talvisaikaan hyönteisvioletuksia huomattavasti kestäviä kuin kesällä, mutta tätä ei ole tut-

kimuksin toistaiseksi osoitettu. Jos kestävyysero todetaan, heikompi tuholaiskestävyys osuisi juuri sellaiseen aikaan, kun jauhiaisten torjuntaeliöiden toimintakin kärsii epäedullisista valo-olosuhteista.

Johtopäätökset koskien tietoaukkoja ja tutkimustarpeita

Tässä suppeana esitetyn kirjallisuuskatsauksen ja viljelmiltä tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta, että tekovalotettujen vihanneskasvustojen hyönteisten valobiologiaan ja visuaaliseen ekologiaan liittyviä tietoaukkoja ja haasteita on useita. Jauhiaisten valinta hyönteisten valobiologisten kasvinsuojelututkimusten kohteeksi on perusteltua, koska ne yhdessä torjuntaeliöidensä kanssa muodostavat eliöjoukon, jonka jäsenillä on selvästi erilaisia vasteita elinympäristönsä valo-olosuhteisiin: jauhiaiset ja niiden loispistiäiset ovat päiväaktiivisia hyönteisiä, jauhiaislude taas pimeäaktiivinen. Jauhiaiset suunnistautuvat isäntäkasveilleen lähes pelkästään visuaalisten signaalien avulla, kun taas loispistiäiset hyödyntävät hajuvihjeitä ja petoluteet ilmeisesti molempia. Näin myös kasvien kautta ilmenevillä epäsuorilla valoilmaston vaikutuksilla on relevanssia tutkimuskohteena ja kasvinsuojeluun vaikuttavana tekijänä.

Hyönteisten fototaksismia voidaan jo hyödyntää kasvinsuojelusovelluksissa valoansoina ja värikköinä liima-ansoina, mutta ansojen tavoin toimivien lamppujen merkitystä eri vuodenaikoihin käytettävien torjuntaeliöiden (jauhiaisten loispistiäiset ja petoluteet) populaatiokehitykseen ei ole kvantifioitu. Jauhiaislude on tärkein valotomaatilla käytettävä torjuntaeliö, joten sen fototaksisuus eri vuorokauden- ja vuodenaikoina tulisi tutkia, koska luteet saattavat hakeutua lamppuihin etenkin silloin, kun ne päästetään pulloista ulos kasvustoon. Myös luteen päivänpituusreaktiot sekä populaatiokehitys suurpainenatriumlamppujen luomassa valoilmastossa talvisaikaan on syytä selvittää; edellisestä on jo tutkimus käynnissä (Pinto et al., julkaisematon). Mikäli fototaksismi osoittautuisi petoluteiden ja loispistiäisten toimintaa ja lisääntymistä oleellisesti haittaavaksi tekijäksi, on jauhiaisten torjuntaeliöiden levitystavat – ja –strategiat mietittävä uusiksi ja mahdollisesti keskityttävä lentokyvyttömiä torjuntaeliöiden etsimiseen myös tomaatille. Kurkulla sellainen jo on, *Amblyseius swirskii* petopunkki. Tomaatilla uuseimpien petopunkkien ongelmana ovat kuitenkin kasvin tahmeat trikomiakarvat.

Vihanneskasvien mahdollisia hyönteispuolustuksen voimakkuuseroja seurauksena UV-säteilyn määräeroista kesällä ja talvella ei tunneta. Jos eroja on, ne voivat vaikuttaa kasvintuhoojien voituskynnsarvoihin eri vuodenaikoina, mikä edellyttäisi erilaisia torjuntastrategioita vuodenaikasta riippuen. Hankaluutena on, että torjuntaeliöiden toiminta on talvella jo valmiiksi heikompa kuin kesällä, mihin vaikuttanevat useat eri syyt, joista osa todennäköisesti on kasvihuoneiden talviaikaiseen valoilmastoon liittyviä. Jauhiaiset lisääntyvät tomaatti- ja kurkkukasvustoissa hyvin talvellakin, ja kenties niiden talvinen lisääntymis- ja vioitusteho on olosuhteisiin nähden jopa suurempi kuin kesällä. Taus-talla saattavat olla mahdolliset vuodenaikaiserot kasvien puolustuskyvyssä. Jauhiaiset pystyvät vähentämään kasveissa muiden kasvintuhoojien torjuntaeliöitä houkuttelevien aineiden tuotantoa (Zhang et al. 2009). Jos tämä pätee myös kurkulla ja tomaatilla ja mikäli indusoituvien puolustusaineiden määrä kasveissa on talvisaikaan vähäisempi kuin kesällä ja kasveilla on jauhiaisia, tekovalotettujen kasvustojen kasvinsuojeluongelmat voivat lisääntyä jo tällaisten monimutkaisten vuorovaikutussuhteiden takia talvella enemmän kuin kesällä.

LED-valaistuksen merkitystä kasvihuonekasvien tuotannossa on tällä hetkellä vielä vaikea enustaa, mutta kehitystyötä lisävalon tuottamiseksi taloudellisesti niiden avulla tehdään eri puolilla maailmaa. LEDien merkitys kasvinsuojelulle tulee riippumaan siitä, missä määrin niillä voidaan korvata auringon säteilyä ja mitä aallonpituuksia ja missä keskinäisissä suhteissa LEDeissä tullaan loppujen lopuksi käyttämään kasvien fotosynteesin maksimoimiseksi (Massa et al. 2008). Nämä ratkaisut vaikuttavat kasvihuoneessa vallitsevaan aallonpituusjakaumaan ja siitä seuraten mahdollisesti hyönteisten biologiaan ja käyttäytymiseen. Spesifisiä aallonpituuksia emittoivien LEDien avulla saattaisi olla mahdollista esimerkiksi korjata tomaatin pölytyksessä tarvittavien kimalaisten valo-olosuhteet sellaisiksi, että ne pystyvät näkemään tomaatin kukissa olevat vihjeet meden saannista; ko. vihjeiden näkemisen UV-valon puute estää. Ratkaisuna voisi olla UV-valoa säteilevien lamppujen sijoittaminen kasvustoon kukkien yläpuolelle.

Vaikka lamppujen avulla valotettujen kasvihuoneiden viljelypinta-alat ovat maailmanlaajuisesti suhteellisen pienet, hyönteisten valobiologian ja visuaalisen ekologian tuntemusta hyödynnetään kasvinsuojelutarkoituksissa myös alueilla, joissa kasvihuoneen valoilmastoa säädellään katemateriaalien

avulla sekä kasvien kasvun parantamiseksi että hyönteisten käyttäytymisen häiritsemiseksi (esim. Shahak 2008). Näin eri alueilla ilmenevät erilaiset kasvinsuojelutarpeet tukevat samojen biologisten periaatteiden soveltamista ratkaisujen löytämisessä, jolloin tutkimus on perusteltua myös pinta-alallisesti pienemmissä viljelyjärjestelmissä.

Kiitokset: Tätä tutkimusta ovat taloudellisesti tukeneet Puutarhasäätiö sekä Maiju ja Yrjö Rikalan puutarhasäätiö.

Kirjallisuus:

- Antignus, Y. 2000. Manipulation of wavelength-dependent behaviour of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insect-borne viruses. *Virus Research* 71: 213–220.
- Auger, P., Tixier, M.S., Kreiter, S., Fauvel, G. 1999. Factors affecting ambulatory dispersal in the predaceous mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) *Experimental & Applied Acarology* 23: 235-250.
- Barbosa, P., Frongillo, E.A. Jr 1979. Host parasitoid interactions affecting reproduction and oviposition by *Brachymeria intermedia* (Hym.: Chalcididae). *Entomophaga* 24: 139-143.
- Blackmer, J.L., Lee, L.L., Henneberry, T.J. 2002. Factors affecting egg hatch, development, and survival of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) reared on an artificial feeding system. *Environmental Entomology* 31(2): 306-312.
- Blacquière, T., van der Aa-Furnée, J., Cornelissen, B., Donders, J. 2006. Behaviour of honey bees and bumble bees beneath three different greenhouse claddings. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting* 17:93-102.
- Briscoe, A.D., Chittka, L. 2001. The evolution of colour vision in insects. *Annual Review of Entomology* 46:471-510.
- De Wilde, J. 1962. Photoperiodism in insects and mites. *Annual Review of Entomology* 7:1-26.
- Doukas, D., Payne, C.C. 2007b. The use of ultraviolet-blocking films in insect pest management in the UK; effects on naturally occurring arthropod pest and natural enemy populations in a protected cucumber crop. *Annals of Applied Biology* 151:221-231.
- Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., García, Y., Real, A.I. 2006. Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting* 22:85-102.
- Gillespie, D.R., Quiring, D.M.J. 2005. Diapause induction under greenhouse conditions in two populations of *Dicyphus hesperus* (Hemiptera: Miridae). *Biocontrol Science and Technology* 15:571-583.
- Gouinguéné, S.P., Turlings, T.C.J. 2002. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. *Plant Physiology* 129:1296-1307.
- Hovi-Pekkanen, T., Tahvonen, R. 2008. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. *Scientia Horticulturae* 116: 152–161.
- Jander, R 1963. Insect orientation. *Annual Review of Entomology* 8:95-114.
- Johansen, N. 2008. In fluence of continuous lighting on the biology of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *IOBC wprs Bulletin* 38: 95-98.
- Kakani, V.G., Reddy, K.R., Zhao, D., Sailaja, K. 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agric Forest Meteorology* 120: 191-218.
- Kennedy, G.G. 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators. Tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology* 48:51-72.
- Kühlmann, F., Müller, C. 2009a. Independent responses to ultraviolet radiation and herbivore attack in broccoli. *Journal of Experimental Botany* 60(12): 3467–3475.
- Kühlmann, F., Müller, C. 2009b. Development-dependent effects of UV radiation exposure on broccoli plants and interactions with herbivorous insects. *Environmental and Experimental Botany* 66: 61–68.
- Lambers, H., Chapin, F.S. III, Pons, T.L. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer, New York.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2008. Puutarhayritysrekisterikysely 2008. MMM:n tietopalvelukeskus.
- Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., Mitchell, C.A., Cary, A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43(7): 1951-56.
- Mazza, C.A., Zavala, J., Scopel, A.L., Ballare, C.L. 1999. Perception of solar UVB radiation by phytophagous insects: behavioral responses and ecosystem implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96:980-985.
- Mellor, H.E., Bellingham, J., Anderson, M. 1997. Spectral efficiency of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and *Encarsia formosa* its hymenopteran parasitoid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 83: 11–20.

- Moe, R. 1997. Physiological aspects of supplementary lighting in horticulture. *Acta Horticulturae* 418: 17-24.
- Moe, R., Grimstad, S.O., Gislerod, H.R. 2006. The use of artificial light in year round production of greenhouse crops in Norway. *Acta Horticulturae (ISHS)* 711:35-42.
- Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture. *HortScience* 43(7): 1947-1950.
- Narisada, D., Schreuder, F. 2004. Adverse effects of light pollution. In, *Light pollution handbook*, p. 79-114. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Nihoul, P. 1993. Do light-intensity, temperature and photoperiod affect the entrapment of mites on glandular hairs of cultivated tomatoes? *Experimental and Applied Acarology* 17:709-718.
- Nishio, J.N. 2000. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant, Cell, and Environment* 23: 539-548.
- Ohtsuka, K., Osakabe, M.H. 2009. Deleterious Effects of UV-B radiation on herbivorous spider mites: they can avoid it by remaining on lower leaf surfaces. *Environmental Entomology* 38:920-929.
- Patterson, C.G., Archbold, D.D., Rodriguez, J.G., Hamilton-Kemp, T.R. 1994. Daylength and resistance of strawberry foliage to the twospotted spider mite. *HortScience* 29(11): 1231-1246.
- Perdikis, D.C.H., Lykouressis, D.P., Economou, L.P. 1999. The influence of temperature, photoperiod and plant type on the predation rate of *Macrolophus pygmaeus* on *Myzus persicae*. *BioControl* 44:281-289.
- Philogène, B.J., McNeil, J.N. 1984. The influence of light on the non-diapause related aspects of development and reproduction in insects. *Photochemistry and Photobiology* 40:753-761
- Prokopy, R.J., Owens, E.D. 1983. Visual detection of plants by herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 28: 337-364.
- Raviv, M., Antignus, Y. 2004. UV radiation effects on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops. *Photochemistry and Photobiology* 79:219-226.
- Roberts, M.R., Paul, N.D. 2006. Seduced by the dark side: integrating molecular and ecological perspectives on the influence of light on plant defence against pests and pathogens. *New Phytologist* 170: 677-699
- Shahak, Y. 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A Review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae* 770: 161-168.
- Simmons, A.M, Chu, C.C, Henneberry, T.J. 2004. Yellow sticky cards equipped with light-emitting diodes: a natural enemies compatible management tool for whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) and other greenhouse vegetable pests. *Journal of Entomological Science* 39: 298-300.
- Skorupski, P., Döring, T.F. & Chittka, L. 2007. Photoreceptor spectral sensitivity in island and mainland populations of the bumblebee (*Bombus terrestris*). *J. Comp. Physiol. A* 193: 485-494.
- Suzuki, T., Fukunaga, Y., Amano, H., Takeda, M., Goto, E. 2008. Effects of light quality and intensity on diapause induction in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Applied Entomology and Zoology* 43:213-218.
- Tazawa, S. 1999. Effects of various radiant sources on plant growth (Part 1). *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)* 33: 163-176.
- Treutter, D. 2006. Significance of flavonoids in plant resistance: a review. *Environmental Chemistry Letters* 4: 147-157.
- van Laerhoven, S.L., Gillespie, D.R., Roitberg, B.D. 2003. Diel activity pattern and predation rate of the generalist predator *Dicyphus hesperus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 107:149-154.
- von Dahl, C.C., Hävecker, M., Schlögl, R., Baldwin, I.T. 2006. Caterpillar-elicited methanol emission: a new signal in plant-herbivore interactions? *The Plant Journal* 46: 948-960.
- Zhang, P.-J., Zheng, S.-J., van Loon, J.J.A., Boland, W., David, A., Mumm, R., Dicke, M. 2009. Whiteflies interfere with indirect plant defense against spider mites in Lima bean. *PNAS Early Edition*. Published online before print: <http://www.pnas.org/content/early/2009/11/23/0907890106.abstract>
- Zilahi-Balogh, G.M.G., Shipp, J.L., Cloutier, C., Brodeur, J. 2006. Influence of light intensity, photoperiod, and temperature on the efficacy of two Aphelenid parasitoids of the greenhouse whitefly. *Environmental Entomology* 35: 581-589.
- Zilahi-Balogh, G.M.G., Shipp, J.L., Cloutier, C., Brodeur, J. 2007. Predation by *Neoseiulus cucumeris* on western flower thrips, and its oviposition on greenhouse cucumber under winter vs. summer conditions in a temperate climate. *Biological Control* 40: 160-167.
- Zilahi-Balogh, G.M.G., Shipp, J.L., Cloutier, C., Brodeur, J. 2009. Comparison of searching behaviour of two Aphelenid parasitoids of the greenhouse whitefly *trialeurodes vaporariorum* under summer vs. winter conditions. *Journal of Insect Behavior* 22: 134-147.