



Kuva 1

Työssä uutetaan klorofylliä kasvin vihreistä osista ja mitataan liuksesta transmissiospektri sekä havainnoidaan klorofyllin fluoresenssia.

Koe 1

Klorofyllin uutaminen kasvinosista.

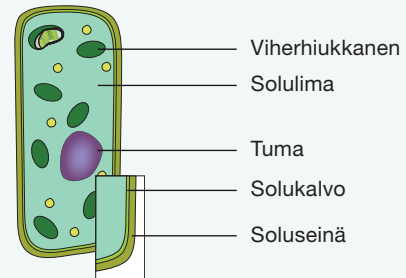
Koe 2

Klorofyllin transmissiospektrin mittaaminen.

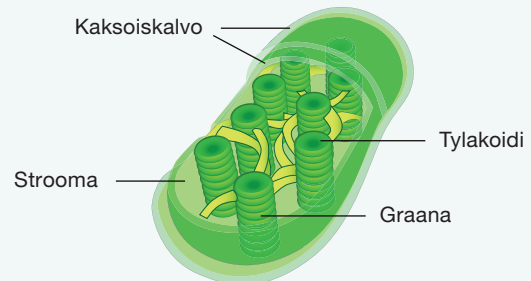
Koe 3

Klorofyllin fluoresenssi.

Vihreissä kasvinosissa klorofyllimolekyylit vastaanottaa auringon säteilyenergiaa. Yhteyttäminen tapahtuu pääasiassa kasvin lehdistä olevissa mesofyllisoluissa, joissa kussakin on noin 20-40 viherhiukkasta eli kloroplastia.



Kuva 2: Viherhiukkaset sijaitsevat pääasiassa kasvin mesofyllisoluissa.



Kuva 3: Yhteyttäminen tapahtuu viherhiukkasissa, joissa klorofylli on sitoutunut tylakoidikalvoihin. Levymäiset tylakoidikalvot muodostavat pinoja eli graanoja, jotka ovat kaksoiskalvon ympäröimässä perusnesteessä.

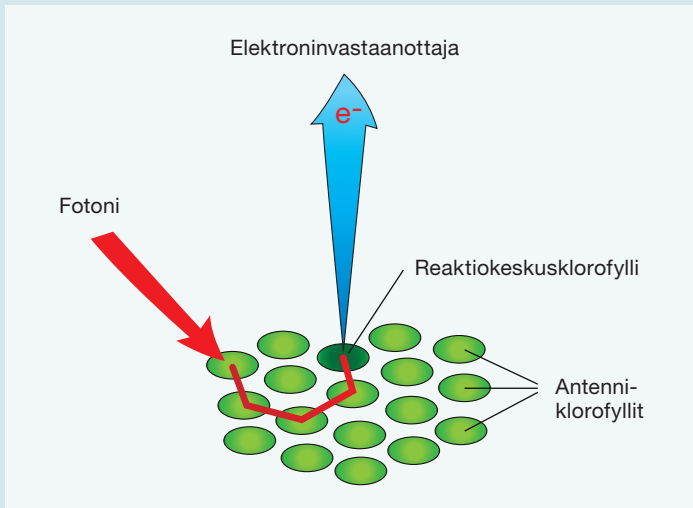
Viherhiukkasen sisällä on liukoista perusainetta ja yhteyttämis-kalvot (tylakoidit). Klorofyllimolekyylit sijaitsevat näissä pussimaisissa (tylakoidi) kalvoissa. Klorofyllimolekyylit muodostavat komplekseja, erityistä reaktiokeskusklorofylliä ympäröi joukko antenniklorofyllejä. Ainoastaan reaktiokeskusklorofylli pystyy purkamaan viritystilansa pelkistämällä läheisiä yhdisteitä, jolloin käynnistyy elektroninsiirtoketju joka johtaa yhteyttämisreaktioon. Antenniklorofyllien tehtävä on siirtää viritysenergiansa reaktiokeskusklorofyllille.

Välineet

	Koe 1	Koe 2	Koe 3
44001B Spektrometri, digitaalinen		1	1
44002 Valolähde, halogeeni		1	1
57018 Koeputkiteline, 16 mm koeputkille	1	1	1
54008 Koeputki 16x160mm, kuum. kestävä	2	2	1
52010 Suodatinsuppilo 50mm	1		
52022 Huhmar	1		
52022B Hierrin	1		
51024 Jalusta ja tanko 60 cm	1		
52007 Suodatinrenas Ø 50 mm	1		
43040 Kyvetti, muovia 100 kpl/pkt		3	1
59211 Etanoli, Industol 1 l	1		1
52012 Suodatinpaperi Ø 70 mm 100 kpl	1		

Lisäksi tarvitaan

Vihreitä kasvinlehtiä (salaatti, ruoho jne.)	1		
Suodatin (sininen)			1
LED-taskulamppu			1
Mittaustietokone		1	1



Kuva 4: Klorofyllimolekyylien muodostamassa kompleksissa fotoni virittää antenniklorofyllin. Se siirtää virityksen toisille molekyyille, kunnes lopulta erityinen reaktiokeskus-klorofylli siirtää energian turvin elektronin vastaanottajamolekyyli. Säteilyenergia sitoutuu tässä reaktiossa kemialliseksi energiaksi.

Kokeessa 1 kasvisolukko murskataan ja klorofyllit liuotetaan siitä alkoholilla. Kokeessa 2 mitataan alkoholiin liuotetusta klorofyllistä absorptiospektri. Klorofyllimolekyyli virittyy perustilaltaan kahdelle viritystilalle, joita vastaavat absorptiospektrin viivat aallonpituuksilla 430 nm (sininen) ja 660 nm (punainen). Viritystilat purkautuvat lämpönä, valona tai siirtämällä viritysentergian seuraavalle klorofyllimolekyyli. Purkautumistapa riippuu kemiallisesta ympäristöstä ja klorofyllikompleksin kyvystä siirtää viritysentergiaa eteenpäin.

Kokeessa 3 kemiallisesta ympäristöstään erotetut klorofyllit eivät kykene siirtämään ja sitomaan viritysentergiaa kemiallisesti, joten ne fluoresoivat merkittävän osan sitomastaan energiasta vastaanottamaansa valoa pitempiaaltoisena valona.



Kuva 5 . Klorofyllin uuttaminen kasvin lehdistä.

Koe 1

Klorofyllin uuttaminen kasvinosista.

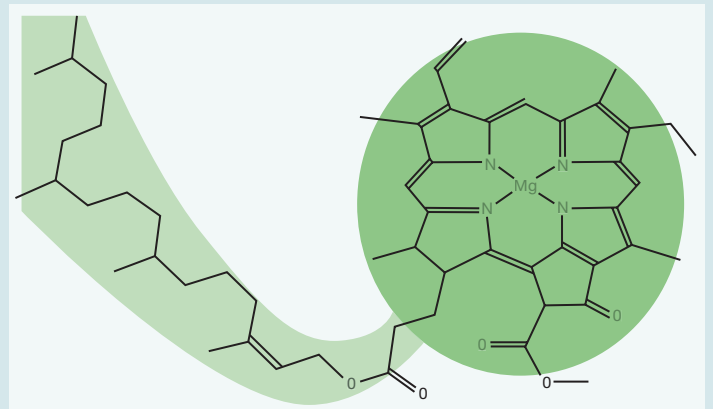
Välineet	Koe 1		
44001B Spektrometri, digitaalinen			
44002 Valolähde, halogeeni			
57018 Koeputkiteline, 16 mm koeputkille	1		
54008 Koeputki 16x160mm, kuum. kestävä	2		
52010 Suodatinpippuri 50mm	1		
52022 Huhmar	1		
52022B Hierrin	1		
51024 Jalusta ja tanko 60 cm	1		
52007 Suodatinrenas Ø 50 mm	1		
43040 Kyvetti, muovia 100 kpl/pkt			
59211 Etanoli, Industol 1 l	1		
52012 Suodatinpaperi Ø 70 mm 100 kpl	1		
Lisäksi tarvitaan			
Vihreitä kasvinlehtiä (salaatti, ruoho jne.)	1		
Suodatin (sininen)			
LED-taskulamppu			
Mittaustietokone			

Kokeen tavoitteet

1. Aineiden erottamisen työtapojen opettelu, uuttaminen ja suodattaminen.

Peruskäsitteet

Kasvit yhteyttävät valon energiaa hyödyntämällä vettä ja hiilidioksidia sokereiksi. Valon energian sitomisen ensimmäinen lenkki on kasvisolun viherhiukkasessa sijaitseva klorofyllimolekyyli. Hiukkasen sisällä klorofyllimolekyylit sijaitsevat yhteyttämiskalvoissa eli tylakoideissa.



Kuva 6. Klorofylli a. Hiilivety ”häntä” vasemmalla ja porfyriinirengas oikealla

Klorofyllimolekyyliä on useita erilaisia mutta kaikkien niiden rakenne muodostuu porfyriinirenkaasta ja siihen liittyneestä hiilivety ”hännästä”. Ne erottuvat toisistaan renkaaseen ja hiilivetyketjuun liittyneiden sivuryhmien osalta. Klorofylli a on yleisin ryhmän molekyyleistä ja sitä on mm. kaikissa vihreissä kasveissa. Hiilivetyketjun ansiosta klorofylli liukenee hyvin orgaanisiin liuottimiin, kuten esimerkiksi asetoniin ja etanoliin, jota tässä työssä käytetään liuottimena.

Tässä kokeessa kasvin vihreät lehdet murskataan hiertämällä ne huhmareessa alkoholin kanssa. Kasvisolun ja viherhiukkasessa olevien tylakoidikalvojen rikkoutuessa klorofyllimolekyylit uuttuvat alkoholiin. Syntyneestä massasta erotetaan kasvin lehden kiinteät osat suodattamalla.

Asettelut

Koeasetelma on esitetty kuvassa 5.

Kokeen suoritus

- a) **Kaada huumareeseen noin 10-20 ml alkoholia.**
Revi tai silppua alkoholin joukkoon kasvin vihreitä lehtiä. Murskaa lehdet survimella hiertämällä. Jatka hiertämistä, kunnes alkoholi alkaa värjääntyä syvän vihreäksi.
- b) **Erota kiinteät kasvinosat seoksesta suodattamalla.**
Taittele suodatinpaperi huolellisesti, jotta siihen ei tulisi reikiä. Kaada massa suodatinsuppilossa olevaan paperiin siten, että liuos ei pääse valumaan paperin ohi suodattamatta.
- c) **Tarkastele suodosta valoa vasten.**
Sen pitäisi olla väriltään syvän vihreää liuosta. Jos liuoksen seassa on silmin havaittavia kiinteitä hiukkasia, on suodatus epäonnistunut ja se pitää uusia.

Esimerkkitus

Suodos on kirkas ja syvän vihreä.



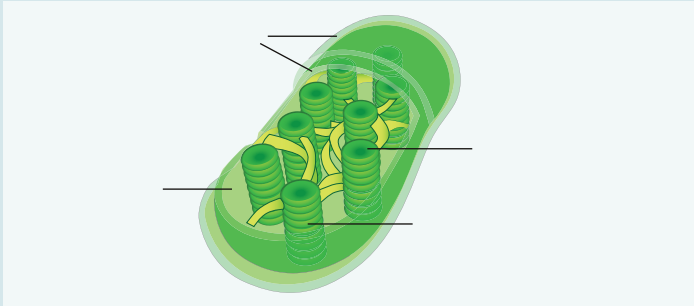
Kuva 7. Suodos.

Tehtävien vastaukset

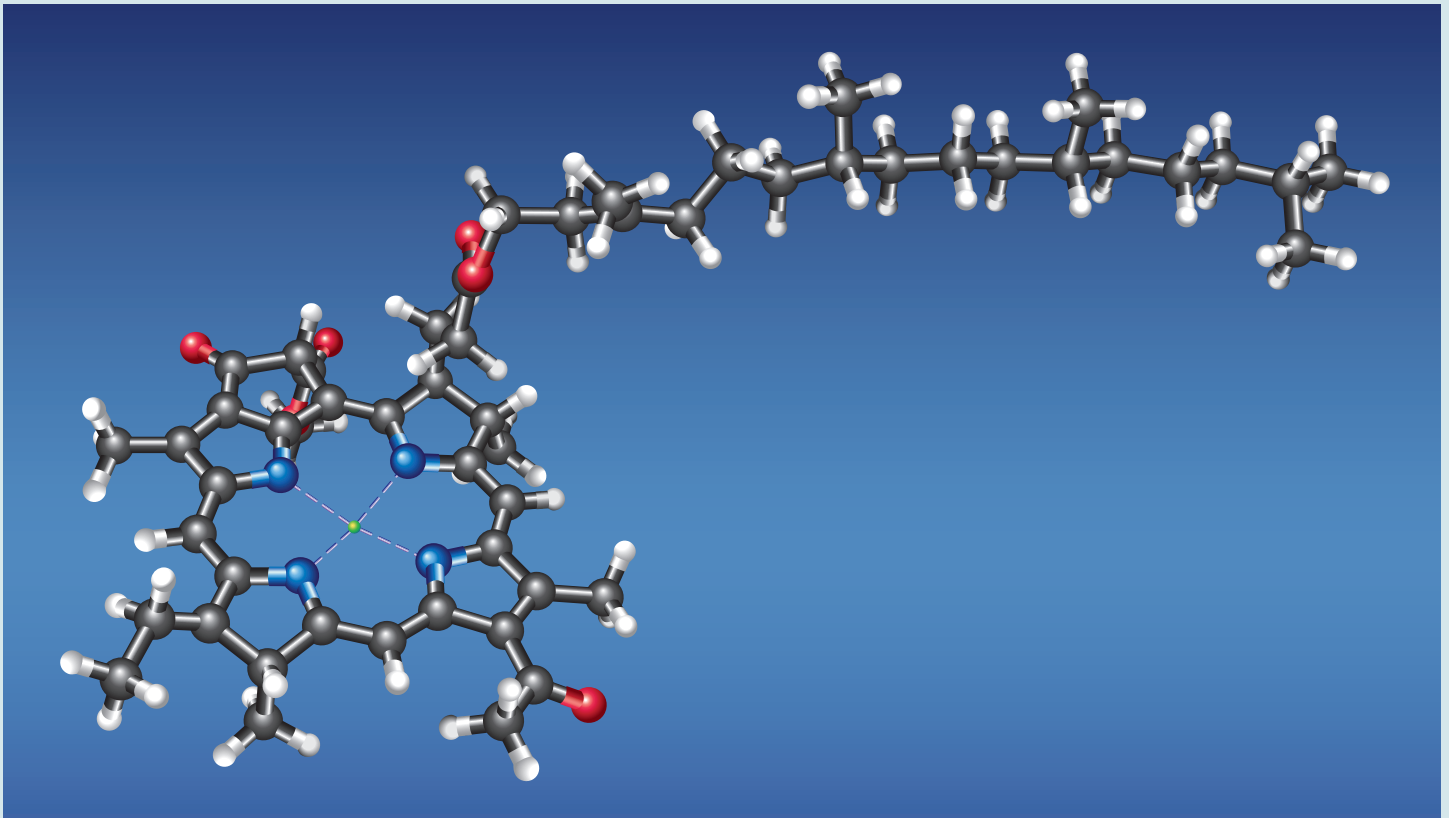
1. Katso kuva 3.
2. Rengas on kuvassa vasemmalla.
3. Hiilivety 'häntä' on kuvassa oikealla.
4. Hiili C (harmaa), typpi N (sininen), vety H (valkoinen), happi O (punainen), magnesium Mg (vihreä)

Tehtäviä

1. Merkitse kuvaan
 - viherhiukkasen kaksoiskalvo
 - strooma
 - tylakoidikalvo
 - kiekkomaisten tylakoidien pino eli graana.



2. Kuvassa on klorofyllimolekyyli. Valon vastaanottaminen tapahtuu molekyylin rengasmaisessa osassa eli porfyriinirenkaassa. Merkitse rengas kuvaan.



3. Pitkän hiilivetyhännän vuoksi klorofylli liukenee hyvin orgaanisiin liuottimiin kuten alkoholiin, asetoniin ja eetteriin. Merkitse "häntä" kuvaan.
4. Selvitä, mitä alkuaineita klorofyllimolekyylissä on. Merkitse kuvaan magnesiumiatomi ja neljä typpiä.



Kuva 8: Klorofyllin transmissiospektrin mittaaminen.

Koe 2

Klorofyllin transmissiospektrin mittaaminen.

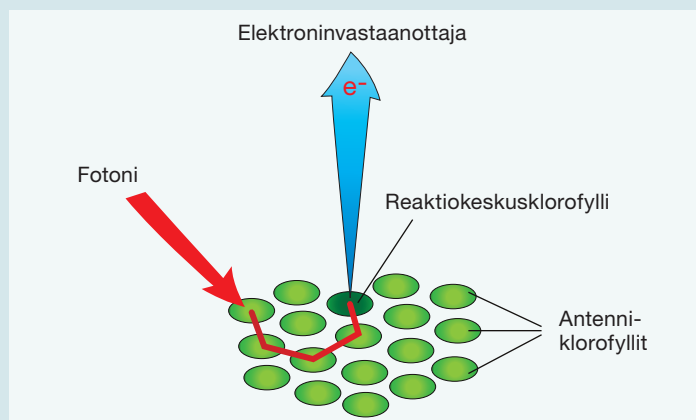
Välineet	Koe 2
44001B Spektrometri, digitaalinen	1
44002 Valolähde, halogeeni	1
57018 Koeputkiteline, 16 mm koeputkille	1
54008 Koeputki 16x160mm, kuum. kestävä	2
52010 Suodatinpila 50mm	
52022 Huhmar	
52022B Hierrin	
51024 Jalusta ja tanko 60 cm	
52007 Suodatinrenas Ø 50 mm	
43040 Kyveti, muovia 100 kpl/pkt	3
59211 Etanoli, Industol 1 l	
52012 Suodatinpaperi Ø 70 mm 100 kpl	
Lisäksi tarvitaan	
Vihreitä kasvinlehtiä (salaatti, ruoho jne.)	
Suodatin (sininen)	
LED-taskulamppu	
Mittaustietokone	1

Kokeen tavoitteet

1. Mitata alkoholiin liuotetun klorofylliliuoksen transmissiospektri.
2. Ymmärtää mitatun transmissiospektrin ja liuoksen värin yhteys.

Peruskäsitteet

Kokeessa 1 valmistettu liuos sisältää klorofylli a:n lisäksi muitakin klorofyllejä ja väriainepigmentejä. Oletetaan kuitenkin, että liuoksen väriaineista valtaosa klorofylli a:ta. Alla olevan diagrammin mukaisesti klorofyllimolekyyli voi virittyä perustilaltaan joko alempaan viritystilaan S^a (singlet) tai ylempään viritystilaan S^b (singlet). Näistä siirtymistä syntyvät absorptiomaksimit aallonpituuksille 430 nm ja 640 nm. Viritystilassa S^b molekyyli luovuttaa nopeasti osan energiastaan lämpönä pudoten tilaan S^a . Klorofyllin alinta viritystilaa (triplet) ei tässä yhteydessä käsitellä, sillä se ei näy absorptiospektrissä perustilalta tapahtuvan virittymisen äärimmäisen epätodennäköisyyden vuoksi. Virityksen purkautuminen tältä tilalta tapahtuu fosforenssina, viivästyneenä fluoresenssina tai lämpönä. Myöskään näitä ilmiöitä ei pystytä käytetyllä mittalaitteella havaitsemaan, joten ne sivuutetaan.



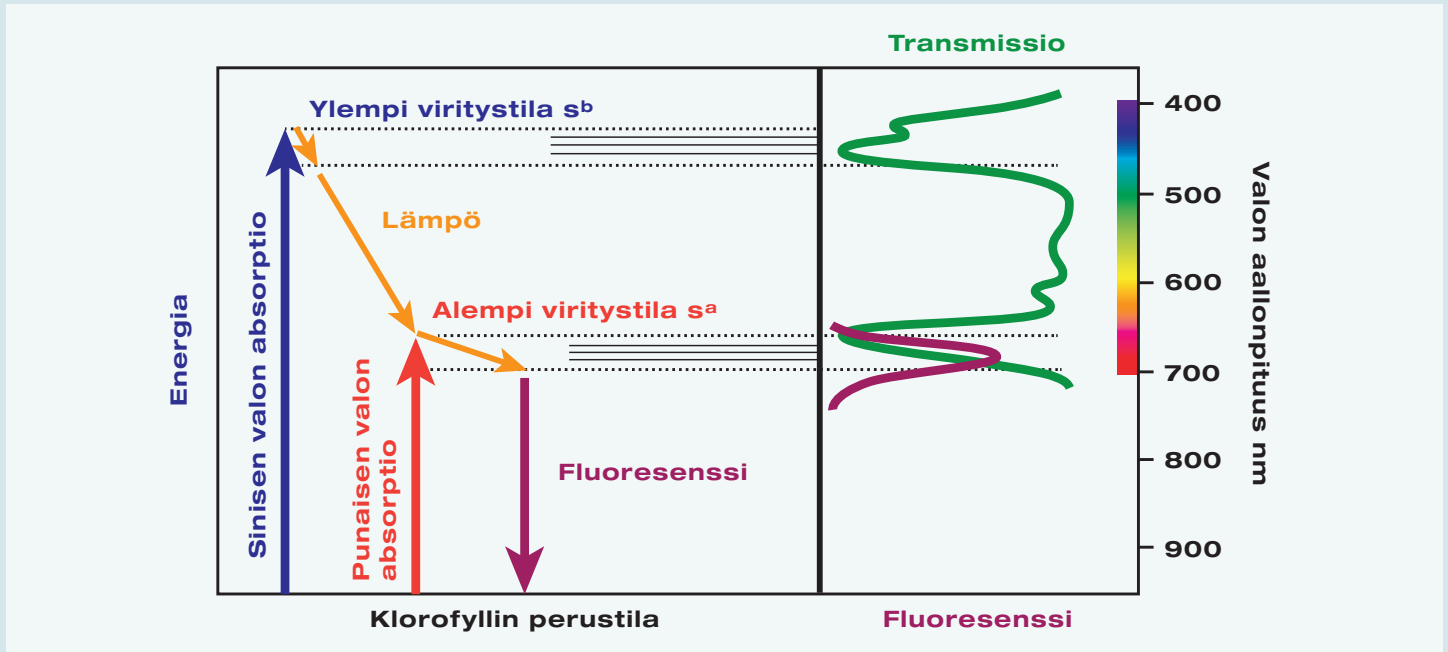
Kuva 9: Toimivassa klorofyllikompleksissa antenniklorofyllin vastaanottaman fotonin energia siirtyy reaktiokeskusklorofyllille, joka sitoo sen kemialliseksi energiaksi.

Molekyylien viritykset purkautuvat lämpönä, valona tai ne siirtävät viritysenergiansa seuraaville klorofyllimolekyyleille. Klorofyllimolekyyli muodostavat kompleksin, jossa joukko antennimolekyyliä siirtää viritysenergiaa virittäen lopulta reaktiokeskusklorofyllin. Se pystyy käyttämään energian kemiallisessa pelkistysreaktiossa, joka sitoo lopulta säteilyn luovuttaman energian kemialliseksi energiaksi.

Elävässä kasvissa sopivassa valaistuksessa, jossa energiaa sitovat kemialliset reaktiot eivät saturoidu, ainoastaan 1%-3% viritysenergiasta purkautuu fluoresenssina. Tilanne muuttuu täysin, kun klorofyllimolekyyli erotetaan toisistaan. Fluoresenssi on helppo havaita paljain silmin valaisemalla klorofylliliuosta sinisellä valolla.

Mittausmenetelmä

Spektrometrin valolähteen valo kulkee kokeessa 1 valmistetun liuoksen läpi spektrometrille ja tietokoneella mitataan valon intensiteetti. Spektriä tarkastelemalla havaitaan ne aallonpituudet, jotka eivät läpäise näytettä. Huomataan, että niitä vastaavat fotonienergiat ovat samat kuin klorofyllimolekyylin virittämiseen vaadittavat energiat.



Kuva 10: Klorofylli-a -molekyylin energiatasokaavio. Oranssi nuoli kuvaa säteilemätöntä siirtymää, jossa viritysenergia muuttuu vapautuu lämpönä. Sekä ylempi- että alempi viritystila jakautuu molekyylin värähtelyn ja rotaation vuoksi voihin.

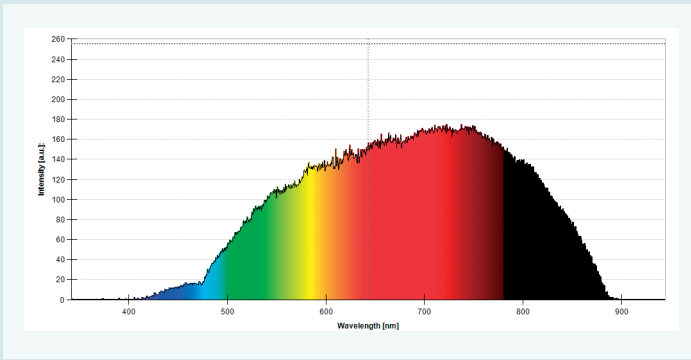
Asettelut

Koeasetelma on esitetty kuvassa 8.

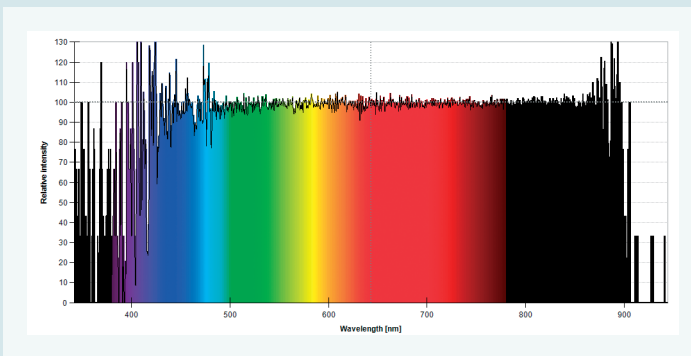
Kokeen suoritus

- Kiinnitä spektrometri ja valolähde toisiinsa.
- Transmissiospektrin mittausvalmistelut.**
Täytä kyveti puhtaalla etanolilla. Aseta kyveti valolähteen ja kytke valo pois. Mittaa "pimeä spektri". Kytke valolähteen valo päälle ja mittaa referenssispektri. Käynnistä samasta valikosta transmissiospektrin laskenta.
- Kaada kokeessa 1 valmistamaasi klorofylliliuosta kyvetiin.**
Tarkastele liuosta silmämääräisesti ja kuvaile sen ominaisuuksia.
- Aseta kyveti spektrometrin valolähteeseen.**
Huomaa, että sen asennon tulee olla oikea. Valon pitää päästä kulkemaan sen tasaisten ja läpinäkyvien seinien läpi.
- Mittaa klorofyllin spektri ja tallenna se myöhempää tarkastelua varten.**

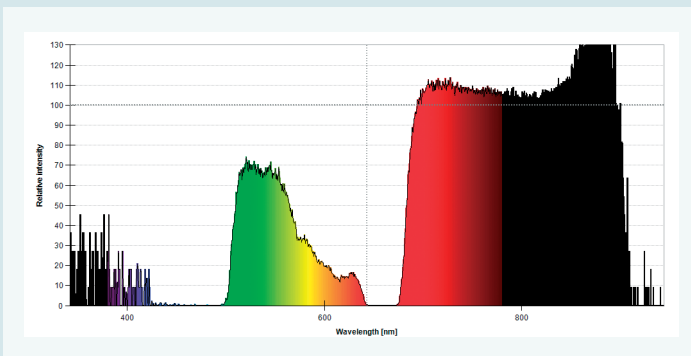
Mittausesimerkki



Kuva 11: Referenssispektri kyvetin ja siinä olevan puhtaan etanolin läpi mitattuna. Spektrometrin valolähteen spektrin sinisen alueen intensiteetin heikkous ja/tai anturin kyky havaita lyhytaaltoista valoa rajoittaa spektrometrin toiminta-aluetta.



Kuva 12: Transmissiospektri kyvetin ja etanolin läpi mitattuna. Voimakas kohina spektrin molemmissa päissä johtuu heikosta signaalista, josta transmissiospektri lasketaan. Vertaa kohinaisia aallonpituusalueita referenssispektriin.



Kuva 13: Etanoliin liuotetun klorofyllin transmissiospektri. Spektristä havaitaan selvästi, että valon sinisessä ja punaisessa päässä valo ei läpäise liuosta absorption vuoksi. Sen sijaan vihreän valon aallonpituudet tulevat liuoksen läpi vaivatta aiheuttaen sille vihreän värin. Spektrin punaisessa päässä suhteellinen intensiteetti nousee korkeammaksi kuin 100%. Näillä aallonpituuksilla valoa tulee siis liuoksesta enemmän ulos kuin sinne menee sisään. Syy lienee klorofyllin fluoresenssissa, jota tutkitaan tarkemmin kokeessa 3.

Tulkinta ja tehtävät

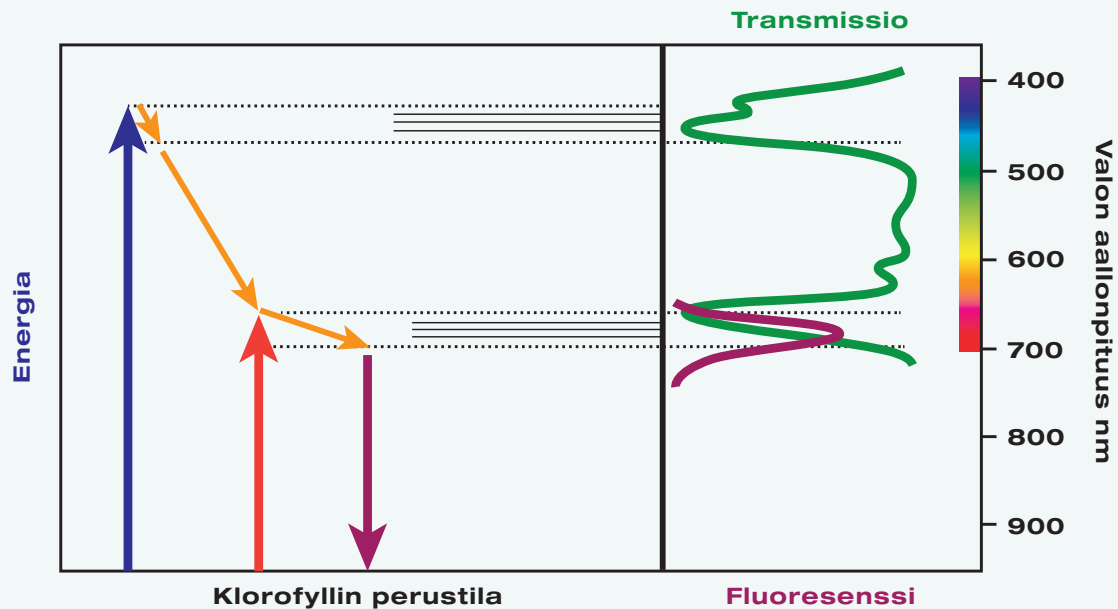
- Silmämääräisesti tarkasteltuna liuosta voi kuvata voimakkaan vihreäksi. Tutkimalla mitattua absorptiospektriä, havaitaan liuoksen läpäisevän parhaiten vihreän valon alueella olevaa valoa. Sen sijaan sinisen ja punaisen valon alueella tapahtuu valon intensiteetissä voimakasta heikkenemistä. Koska liuos läpäisee eniten vihreää valoa, se myös näkyy vihreänä.
- Transmissiospektristä ei voi erottaa kahta selvää viritys-energioita vastaavaa piikkiä. Syitä tähän on useita. Klorofyllimolekyylien vibraatio- ja rotaatio leventävät spektriviivat voiksi. Klorofyllimolekyylien keskinäisten ja liuotinmolekyylien väliset vuorovaikutukset vaikuttavat spektrin muotoon. Tämän lisäksi pitää muistaa, että liuoksessa on muitakin kasvin pigmenttimolekyyliä, joilla jokaisella on oma ominainen spektrinsä. Mitattu spektri syntyy kaikkien tekijöiden yhteisvaikutuksesta.
- Vertailu kirjallisuuteen

Tehtävien vastaukset

1-5. Katso kuva 10

Tehtäviä

1. Merkitse klorofylliliuoksesta mitattuun transmissiospektriin sinisen, vihreän ja punaisen valon aallonpituusalue.
2. Valon 430 nm aallonpituus aiheuttaa klorofyllimolekyylin virittymisen ylemmään viritystilaan. Merkitse kaavioon tätä vastaava virittyminen.
3. Klorofyllimolekyyli menettää osan ylimmän viritystilansa energiasta välittömästi lämpönä ja se siirtyy alempaan viritystilaan. Merkitse kaavioon tämä säteilemätön siirtymä.
4. Aallonpituudeltaan 660 nm valo virittää klorofyllimolekyylin alempaan viritystilaan. Merkitse kaavioon tätä viritystä vastaava siirtyminen.
5. Alemmalta viritystilaltaan klorofyllimolekyyli voi siirtää viritysen energian toiselle klorofyllimolekyylille tai menettää sen lämpönä. Se voi myös palata perustilalleen fluoresoimalla. Merkitse kaavioon fluoresenssia kuvaava siirtymä.





Kuva 14: Klorofyllin fluoresenssispektrin mittaaminen.

Koe 3

Klorofyllin fluoresenssi.

Välineet		Koe 3
44001B Spektrometri, digitaalinen		1
44002 Valolähde, halogeeni		1
57018 Koeputkiteline, 16 mm koeputkille		1
54008 Koeputki 16x160mm, kuum. kestävä		1
52010 Suodatinpipo 50mm		
52022 Huhmar		
52022B Hierrin		
51024 Jalusta ja tanko 60 cm		
52007 Suodatinrenas Ø 50 mm		
43040 Kyveti, muovia 100 kpl/pkt		1
59211 Etanoli, Industol 1 l		1
52012 Suodatinpaperi Ø 70 mm 100 kpl		
Lisäksi tarvitaan		
Vihreitä kasvinlehtiä (salaatti, ruoho jne.)		
Suodatin (sininen)		1
LED-taskulamppu		1
Mittaustietokone		1

Peruskäsitteet

Klorofyllimolekyylin perustilalta virittymiset tapahtuvat valon aallonpituutta 430 nm (viritystila S^b) vastaavalla kvantin energialla tai 660 nm vastaavalla kvantin energialla (viritystila S^a) katso kuva 10. Viritystila purkautuu useita eri kilpailevia reittejä pitkin. Näitä ovat molekyylien törmäyksien yhteydessä viritysenergian tai osan siitä muuttuminen lämmöksi, virityksen siirtyminen naapurimolekyyliin tai fluoresenssi. Jotkut klorofyllimolekyylit (reaktiokeskukset) pystyvät siirtämään viritysenergian kemialliseksi energiaksi pelkistämällä naapurimolekyyliin. Korkeampaa viritysenergiaa vastaava tila S^b purkaa osan energiastaan lämpönä siirtyen tilaan S^a niin nopeasti, että fluoresenssia ei esiinny.

Viherhiukkasessa klorofyllimolekyylit muodostavat kompleksin, jossa antenniklorofyllit siirtävät viritysenergiaa toisilleen, kunnes sen lopulta vastaanottaa reaktiokeskus-klorofylli. Vain 2-3% energiasta menetetään tässä prosessissa esimerkiksi lämmöksi. Jos reaktiokeskus ei pysty vastaanottamaan viritysenergiaa, purkautuu se ennemmin tai myöhemmin lämpönä tai fluoresenssina.

Tilanne muuttuu oleellisesti, kun klorofyllimolekyylit erotetaan toisistaan ja kasvin fotosysteemistä. Ne eivät enää pysty siirtämään viritystilan S^a energiaa eteenpäin, joten viritys purkautuu joko fluoresenssina tai lämpönä.

Tässä työssä tutkitaan klorofyllin fluoresenssia. Kokeessa 1 valmistettua liuosta tarkastellaan valkoisessa valossa, sinisessä valossa ja klorofyllimolekyylien fluoresenssispektri mitataan spektrometrillä.

Kokeen tavoitteet

- Huomata, että fluoresenssina purkautuva valo on pitempitaalloista kuin virittävä valo.
- Todeta, että molekyylin sisällä osa virittävän valon energiasta kuluu säteilemättömissä siirtymissä.

Asettelut

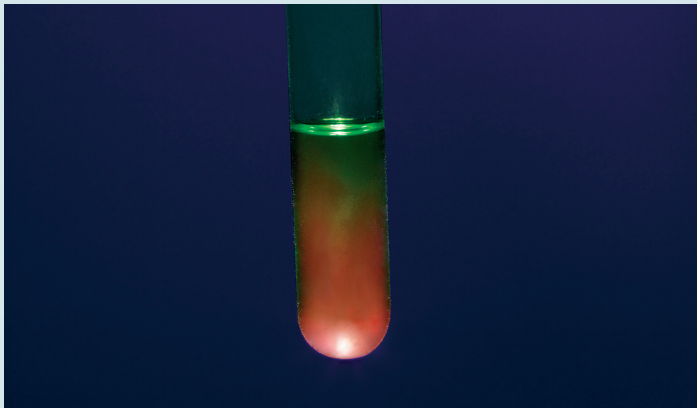
Asettelut on esitetty kuvassa 14.

Kokeen suoritus

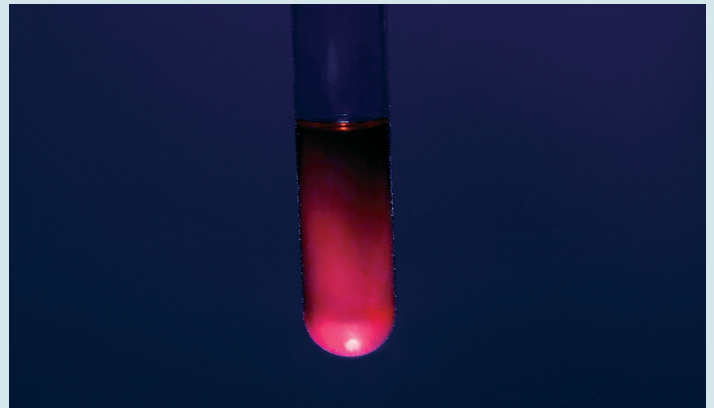
- a) **Himmennä valot tai pimennä huone.**
Suuntaa taskulampun valo kokeessa 1 valmistettuun klorofylliliuokseen. Mitä havaitset?
- b) **Aseta lampun eteen sininen suodin.**
Miltä klorofylliliuos näyttää sinisessä valossa?
- c) **Pane kyvetiin klorofylliliuosta siten,** että liuoksen yläpinta on juuri ja juuri näkyvissä valolähteen ikkunan läpi katsottaessa.
- d) **Aseta valolähde spektrometriin ja kyveti valolähteeseen.**
Älä kytke virtaa valolähteen lampulle. Käytä sen sijaan taskulamppua. Suuntaa sen valo kyvetiin suoraan ylhäältä. Mittaa syntyvän fluoresenssivalon spektri.

Mittausesimerkki

- a) Fluoresenssi on havaittavissa selvästi valaistaessa liuosta valkoisella tai punaisella valolla (kuvat 15 ja 16) pimennetyssä huoneessa.

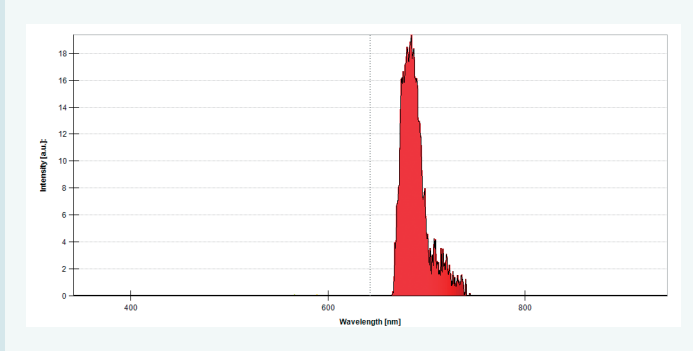


Kuva 15: Klorofylliliuosta valaistaan LED-lampun valkoisella valolla pimennetyssä huoneessa. Punainen fluoresenssi on selvästi havaittavissa.



Kuva 16: Klorofylliliuosta valaistaan sinisellä valolla pimennetyssä huoneessa. Punainen fluoresenssi on selvästi havaittavissa.

- b) Klorofyllin fluoresenssispektri on mitattu LED-lampun valkoisessa valossa. Kohtisuoraan ylhäältä suunnattu valo ei siroonnut havaittavasti spektrometrin anturiin, koska sitä ei ole kuvassa havaittavissa. LED-lampun valon voi myös suodattaa sinisellä suotimella, jonka aallonpituuskaista on n. 430 nm.



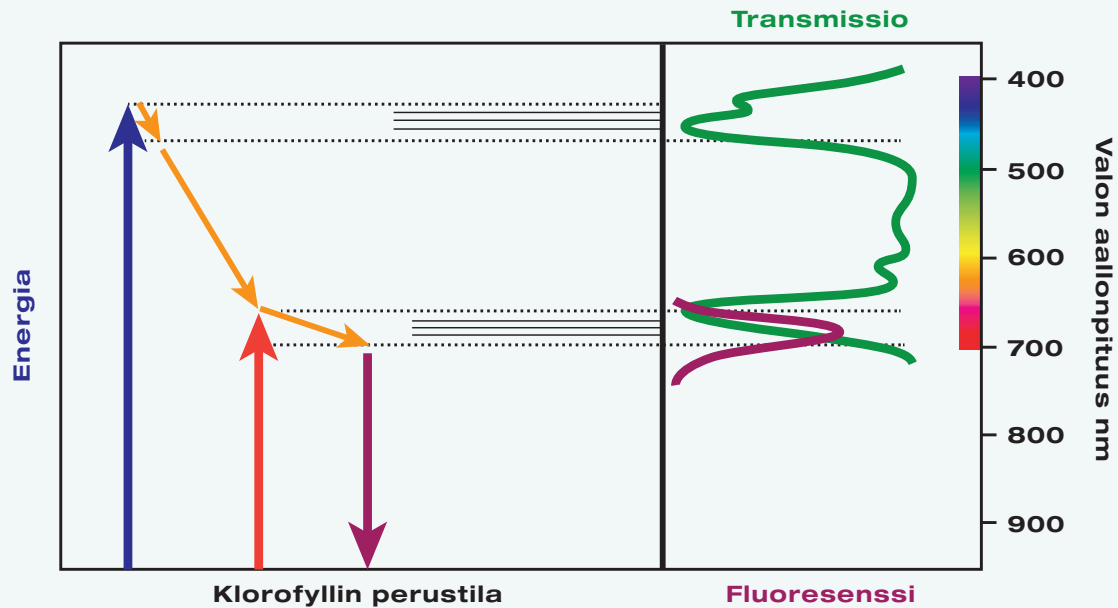
Kuva 17: Klorofyllin fluoresenssispektri. Mittauksessa valolähteenä on käytetty LED-taskulamppua, jonka valo suunnattiin liuosta sisältävään kyvetiin suoraan ylhäältä.

Tulkinta ja tehtävät

1. Liuos on väriltään vihreä.
2. Valaisukohta on väriltään vihreä ja ehkä punertava, liuoksen väkevyydestä riippuen.
3. Valaisukohta fluoresoi punaisena.
4. Valaisukohta fluoresoi punaisena. Muuten liuos näyttää tummalta.
5. 670 nm-730 nm.
6. Katso kuva 10.
7. Molekyylin energiatilat ovat jakautuneet sen värähtely ja rotaatiotilojen vuoksi voiksi. Siirtymällä alimmalta viritystilalta perustilalle on useita eri vaihtoehtoja, joten fluoresenssispektri muodostuu yhden spektriviivan sijasta leveämmäksi vyöksi. Virittymisen ja fluoresenssin välillä osa energiasta kuluu lämpönä, joten fluoresenssissa vapautuva valo on hieman pitempiaaltoista kuin virityksen aiheuttava valo. Klorofyllimolekyyliin yhteydessä olevien molekyylien, esimerkiksi liuottimen, vuorovaikutus näkyy spektrin muodossa. Kirjallisuudessa klorofyllin spektrin yhteydessä ilmoitetaan yleensä liuotin (mm. alkoholi, asetoni, eetteri).

Tehtäviä

1. Kuvaile klorofylliliuoksen väriä valoisassa ympäristössä.
2. Kuvaile klorofylliliuoksen väriä, kun sitä valaistaan lampulla.
3. Kuvaile klorofylliliuoksen väriä, kun sitä valaistaan lampulla pimennetyssä huoneessa.
4. Kuvaile klorofylliliuoksen väriä, kun sitä valaistaan sinisellä valolla pimennetyssä huoneessa.
5. Millä aallonpituusalueella klorofylli fluoresoi?



6. Merkitse klorofyllimolekyylin energiatasokaavioon
 - a) Molekyylin perustila S.
 - b) Molekyylin korkein viritystila Sb.
 - c) Molekyylin alin viritystila Sa.
 - d) Lämpönä purkautuva viritysendergia.
 - e) Alemmalla viritystilalla ennen fluoresenssia lämpönä purkautuva viritysendergia.
7. Miksi kaavioon merkityn ylemmän viritystilan ja alemman viritystilan energiat ovat jakautuneet voiksi?