



MTTK — MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 16/84

SANNI JUNNILA
Kasvinviljelyosasto

**Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien
käyttämiseen maassa**

Kirjallisuustutkimus

JOKIOINEN 1984
ISSN 0359-7652

31600 JOKIOINEN
(916) 84 411

ISSN 0359-7652

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 16/84

SANNI JUNNILA

Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien
käyttämiseen maassa
Kirjallisuustutkimus

Kasvinviljelyosasto
31600 JOKIOINEN
(916) 84 411

ISSN 0359-7652

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
TIIVISTELMÄ	1
JOHDANTO	2
1. HERBISIDIEN OMINAISUUDET	3
1.1. Herbisidien ryhmittely	3
1.2. Herbisidien siirtyminen kasviin	5
1.3. Herbisidien pidäytyminen ja haihtuminen	5
2. MAAN ORGAANINEN AINES	6
3. SAVEKSEN MÄÄRÄ JA LAATU	7
4. MAAN HAPPAMUUS JA RAVINNETILA	8
5. MAAN MIKRO-ORGANISMIT	9
6. MAAN LÄMPÖTILA	11
6.1. Vaikutus käyttökelpoisuuteen	11
6.2. Vaikutus pysyvyyteen	12
7. MAAN KOSTEUS	12
7.1. Vaikutus käyttökelpoisuuteen	12
7.2. Vaikutus pysyvyyteen	15
KIRJALLISUUSLUETTELO	16

TIIVISTELMÄ

Tämä tiedote on kirjallisuuskatsaus ympäristötekijöiden vaikutuksesta ensisijaisesti maan kautta vaikuttavien herbisidien aktiivisuuteen ja käyttökelpoisuuteen. Kunkin herbisidin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet määräävät pitkälti, millä tavoin muutokset maaympäristössä vaikuttavat herbisidien tehoon.

Maan orgaanisen aineksen ja saveksen osuudet ovat oleellisia tekijöitä maan pidätyskyvyn kannalta. Maan ravinnetila ja happamuus vaikuttavat kasvien ja mikro-organismien kasvuun, mutta myös herbisidien pidätykseen maakoloidien pintaan ja siten kasveille käyttökelpoisen herbisidin määrään. Merkittävin muoto herbisidien hajaantumisessa on mikrobihajotus, jota maan biologinen aktiivisuus ja siihen vaikuttavat tekijät säätelevät.

Ruiskutusta edeltävät ja sen jälkeiset sääolot ovat merkityksellisiä maaherbisidien aktiivisuuden kannalta. Maan lämpötila ja varsinkin sen kosteus säätelevät useimpia fysikaalisia ja kemiallisia toimintoja maassa. Lämpötila ja kosteus vaikuttavat myös voimakkaasti niin biologisen kuin myös ei-biologisen hajaantumisen määrään. Kasveille käyttökelpoisen veden määrä ja sen herbisidipitoisuus ovat yleensä ratkaisevia herbisidin aktiivisuuden kannalta.

Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat paitsi erikseen myös toinen toisiinsa. Näin syntyy monimutkainen, dynaaminen käyttäytyminen, joka on vaikeasti hallittavissa ja ennustettavissa.

JOHDANTO

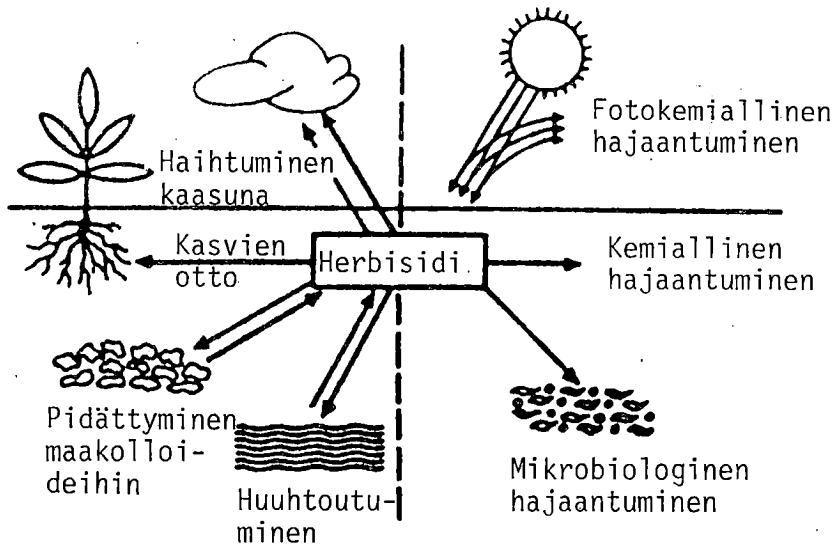
Monet tekijät vaikuttavat maan kautta tehoavan herbisidin käyttökelpoisuuteen rikkakasvien torjunnassa. Herbisidin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, sen käyttömäärä, formulaatio ja levitystapa ovat tärkeitä (HANCE 1983). Lisäksi maan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, mikro-organismien aktiivisuus sekä sääolot ovat merkittäviä valmisteen tehon kannalta. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat paitsi erikseen myös toinen toisiinsa. Siten syntyy monimutkainen, dynaaminen käyttäytyminen, joka on vaikeasti hallittavissa.

Säädellyissä kasvihuoneoloissa voidaan kerrallaan muuttaa korkeintaan 1-2 tekijää. Pellolla taas esiintyy useiden tekijöiden nopeaa päällekkäistä vaihtelua. Laboratoriossa testikasvit ovat alttiimpia herbisideille ja reagoivat säännönmukaisemmin kuin kasvit kentällä (HANCE ym. 1968, GERBER ym. 1983). Maaherbisidin toimintakyvyssä onkin aina hyväksyttävä tietty epäluotettavuus.

Olennainen vaatimus tehokkaalle maaherbisidille on, että sitä kerääntyy maasta rikkakasvien taimiin myrkyllisinä pitoisuuksina taloudellista käsittelymäärää käyttäen ilman riskiä viljelykasvin vahingoittumisesta. Tähän vaikuttavat maan kyky luovuttaa kemikaalia sekä kasvin kyky imeä sitä (WALKER 1980, BOESTEN ja PAS 1983).

Sääolot yhdessä herbisidin pidättymisen kanssa vaikuttavat sen pystysuuntaiseen jakautumiseen maassa ja siten sen käyttökelpoisuuteen. Tavallisesti herbisidin on tunkeuduttava maahan muutamia senttimetrejä hyvän rikkakasvitehon saavuttamiseksi. Jos sademäärä on alhainen, herbisidi pysyy lähellä maan pintakerrosta ja rikkakasvit ottavat sitä rajoitetusti (LEISTRA 1980). Voimakas pidättyminen maan kolloideihin vähentää herbisidin käyttökelpoisuutta ja rajoittaa sen tunkeutumista maahan, vaikka kosteutta olisikin riittävästi. Orgaanisen aineksen ja saveksen osuuden lisääntyessä maan pidätyskyky kasvaa. Herbisidin pidättymisen määrä vaikuttaa maanesteen ja maa-ilman herbisidipitoisuuteen ja siten herbisidin kulkeutumiseen ja käyttökelpoisuuteen (CALVET 1980).

Herbisidipitoisuus vaikuttaa myös sen alttiuteen toiminnoille, joissa se häviää maasta joko hajoamalla tai fysikaalisesti kaasuna ja maaveden mukana (HANCE 1983). Kasveille käyttökelpoinen herbisidijäämä onkin kokonaismäärää tärkeämpi (kuva 1). Jäämän määrään vaikuttavat biologiset tekijät (mikro-organismit ja kasvit) ja ei-biologiset tekijät (lämpötila, kosteus, valo ja maalaji). Kukin näistä tekijöistä on tärkeä määrittäessä herbisidien pysyvyyttä (KULSHRESTHA 1983).



Kuva 1. Pestisidien käyttäytyminen maassa (JARCZYK 1983).

Ihanteellinen herbisidi säilyy maassa kyllin kauan, jotta saavutetaan halutun ajan kestävä riittävä rikkakasviteho. Herbisidi ei saa kuitenkaan tunkeutua suurina pitoisuuksina viljelykasville tärkeään juuristovyöhykkeeseen, eivätkä jäämät saa rajoittaa seuraavan viljelykasvin kasvua (LEISTRA 1980).

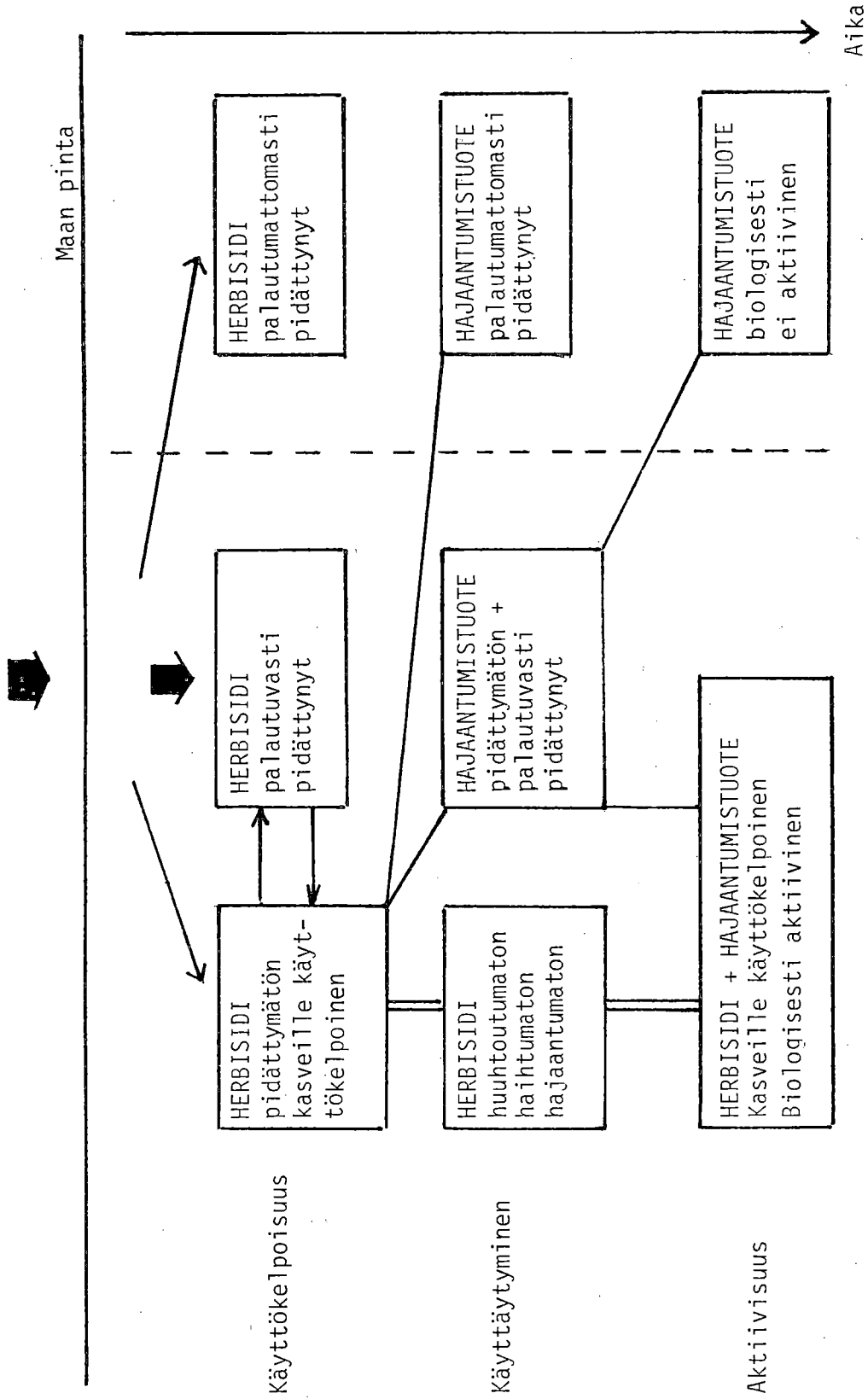
1. HERBISIDIEN OMINAISUUDET

Ympäristötekijät eivät vaikuta kaikkien herbisidien tehoon samalla tavalla. Vaihtelu riippuu herbisidin liukoisuudesta, haihtuvuudesta, pysyvyydestä ja siitä, onko herbisidi ruiskutuksen jälkeen muokattu maahan (EAGLE 1983). Maan fysikaaliset ominaisuudet muovaavat näitä vaikutuksia ja säätelevät sekä pidättymistä että herbisidin liikkumista (kuva 2).

1.1. Herbisidien ryhmittely

Herbisidit ryhmitellään niiden kemiallisen rakenteen perusteella. Tärkeimmät maavaikutteiset herbisidit kuuluvat ryhmiin triatsiinit, ureat, tiokarbamaatit ja karbamaatit. Herbisidit voidaan jakaa polaarisiin eli vesiliukoisiin ja poolittomiin eli vettä hylkiviin. Elektrolyytit jakaantuvat vesiliuoksessa ioneiksi, kun taas ionittomat herbisidit ovat vesiliuoksessa molekyyli- rakenteisia, ionisoitumattomia (MUKULA 1980).

HERBISIDIKÄSITTELY



Kuva 2. Tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat herbisidin käyttökelppoisuuteen kasveille (SCHMIDT ja PESTEMER 1980).

Vaikutustapansa perusteella suurimman maaherbisidiryhmän muodostavat fotosynteesin estäjät, joita ovat mm. S-triatsiinit, ureat, anilidit ja urasiilit.

1.2. Herbisidien siirtyminen kasviin

Kasvi voi ottaa maaherbisidin aktiivisesti (symplastinen translokaatio) tai useimmiten se tunkeutuu kasviin passiivisesti (apoplastinen translokaatio) veteen liuenneena ja yleisimmin juurten ottamana. Laboratorio-oloissa kasviin imeytyneen herbisidin määrä on usein suhteessa maanesteen herbisidipitoisuuteen ja kasvin haihuttaman veden määrään (WALKER 1973). Pelto-oloissa herbisidi tavallisesti säilyy kuitenkin pintamaassa juurten tunkeutuessa syvemmälle ja siten ottaessa vettä, jossa ei ole herbisidiä.

Monet heikosti kaasuuntuvat herbisidit (klooritriatsiinit ja ureat) imeytyvät pääasiassa veteen liuenneina juuriston kautta, joskin eräät myös verson kautta (esimerkiksi etofumesaatti). Kohtalaisesti kaasuuntuvat vaikuttavat ilmeisesti sekä maan kaasu- että nestefaasissa. Voimakkaasti kaasuuntuvat diffundoituvat sen sijaan pääasiassa kaasufaasissa ja kasvit ottavat niitä sekä juurten että taimettuvien versojen kautta (EAGLE 1983).

Herbisidin imeytymispaikasta ja toimintatavasta johtuen sen optimi sijainti maaprofiilissa ja optimi käsittelyajankohta rikkakasvien kasvuvaiheeseen nähden vaihtelevat (GERBER ym. 1983). Herbisidin sijainti riippuu sen vesiliukoisuudesta, maan vesipitoisuudesta, veden kokonaishaihdunnasta (evapotranspiraatio) ja kasvin kasvunopeudesta. Lukuisat tutkimustulokset osoittavat, että suuri valon voimakkuus, korkea ilman ja juurten lämpötila ja alhainen ilman kosteus lisäävät herbisidin ottoa ja siirtymistä kasviin (van OORSCHOT 1983).

1.3. Herbisidien pidättyminen ja haihtuminen

Eri herbisidit eroavat suuresti suhteellisessa tarttumiskyvyssään maan orgaanisiin kolloideihin ja savekseen. Kationiherbisideillä (parakvatti, dikvatti) sidokset ovat voimakkaimmat. Seuraavaksi tulevat emäksiset herbisidit, jotka kykenevät protonin vaihtoon kohtalaisen happamissa oloissa. S-triatsiineilla erot pidättymisvoimakkuudessa ovat yhteydessä aineen happovakion (pKa) vaihteluihin niin, että emäksisimmillä yhdisteillä pidättyminen on voimakkainta. Anioniherbisidien (TCA, MCPA) pidättyminen riippuu maan pH:sta (STEVENSON 1982).

Yhdisteen haihtumiseen maan pinnalta vaikuttaa ympäristötekijäin lisäksi sen höyrystymispaine. Tiokarbamaatit (trifluraliini, EPTC, diallaatti ja triallaatti) ovat kaasuntuvimpia maaherbisidejä (WALKER 1980). Näillä haihtumistappiot voivat muodostua suuriksi. Muokkaamalla herbisidi maahan voidaan oleellisesti vähentää haihtumistappioita ja fotokemiallista hajoamista. Siirtämällä herbisidi näin rikkasiementen itämisvyöhykkeeseen käsittely tulee myös riippumattommaksi sateesta (HURLE ja WALKER 1980).

2. MAAN ORGAANINEN AINES

Sekä laboratorioskokeiden että kenttäkokeiden perusteella orgaaninen aines on maan rakenneosista tärkein maaherbisidien pysyvyyden ja käyttökelpoisuuden kannalta (FRYER ja MAKEPEACE 1977; STEVENSON 1982). Maan orgaanisen aineksen pidätyskyky riippuu orgaanisen aineksen kokonaismäärästä, laadusta ja herbisidin kemiallisista ominaisuuksista (EAGLE 1983). Maan orgaanisen aineksen määrän ja herbisidin aktiivisuuden välinen negatiivinen korrelaatio pienenee siirryttäessä laboratorion pello-oloihin (WALKER 1980). Erityisesti orgaaninen aines mutta myös kivennäishiukkaset muuntuvat suuresti ajan kuluessa. Lisäksi orgaaninen ja kivennäisainekset ovat keskenään voimakkaasti yhdistyneet. Herbisidin pidättymisen määrää onkin mahdoton ennakoita pelto-oloissa vain maan koostumuksen perusteella (CALVET 1980). Orgaanisen aineksen karboksyyli- ja hydroksyyli-ryhmät ovat tärkeitä ionisidosten muodostumisessa ionisoituvien herbisidimolekyylien kanssa. Erityisesti humus- ja fulva-happojen osuus orgaanisen aineksen määrästä on tärkeä pidättymisen voimakkuuden kannalta.

Maan orgaaninen aines edistää monien herbisidien ei-biologista hajoamista muodostamalla vahvoja kemiallisia yhdisteitä mikro-organismien osittain hajottamien yhdisteiden jäämien kanssa ("Soil bound residues"). Tämä saattaa lisätä herbisidijäämien pysyvyyttä, mutta ilmeisesti ympäristölle vaarattomassa muodossa (GUTH 1980, STEVENSON 1982).

Maan orgaanisen aineksen osuuden jätessä alle 8% sekä orgaaniset että kivennäispinnat osallistuvat pidättymiseen. Kun orgaanisen aineksen osuus on yli 8%, pidättyminen tapahtuu pääosin orgaanisilla pinnoilla (STEVENSON 1982). BAUMAN (1976) havaitsi, että olkikate, joka peitti maan 85%:sti, esti 30% anetusta atratsiinikäsittelystä saavuttamasta maata 90 päivän kuluessa käsittelystä. Esimerkiksi Englannissa olkijätteet yleisesti poltetaan pellolla. Oljen tuhkan on todettu vähentävän pestisidien aktiivisuutta maan pidätys-

kyvyn noustessa pintakerroksessa suuremmaksi kuin orgaanisen aineksen osuus antaa olettaa (EMBLING ym. 1983, HANCE 1983). Polttamisen seurauksena muuttuvat ilmeisesti toimivat ryhmät olkijätteissä.

Maan pintakerroksen (1 cm) pidätyskyky lisääntyy tässä minimuokkaus ("low-tillage")-viljelymenetelmässä tasoon, joka on yhtenevä 10% orgaanista ainesta sisältävän maan kanssa. Runsaasti orgaanista ainesta sisältävillä mailla ei yleensä suositella käytettäväksi maaherbisidejä, koska taloudellista tulosta ei usein saavuteta. Toisaalta niiden käyttö keveillä, vähän humusta sisältävillä mailla voi tuoda viljelykasvin vioittumisriskin etenkin, jos käsitte-lyä seuraa runsas sade.

3. SAVEKSEN MÄÄRÄ JA LAATU

Maan epäorgaanisista hiukkasista saves on tärkein herbisidin pidättymiseen ja siten käyttökelpoisuuteen vaikuttava tekijä. Savesmineraalien neljä pääluokkaa ovat montmorilloniitti, illiitti, kaoloniitti ja vermikuliitti. Pidättymisen kannalta tärkein näistä on montmorilloniitti. Se on 3-kerrossavi, jossa on runsaasti sekä sisäistä että ulkoista pintaa pidättymiselle. Myös illiitti on 3-kerrossavi, mutta K^+ -ionit pitävät naapurikerroksia tiiviisti yhdessä niin, että vesi- ja orgaaniset molekyylit eivät pääse välitilaan (STEVENSON 1982).

Negatiivisesti varautuneita paikkoja syntyy runsaasti savesmineraalien kulmien murtuessa. Näin vapautuu paikkoja positiivisesti varautuneelle orgaaniselle ainekselle ja vedelle, jotka kilpailevat niistä keskenään (CALVET 1980). Lisäksi esiintyy irrallisia positiivisia paikkoja erityisesti alhaisessa pH:ssa. Pidättyneet herbisidit ovat ryhmittyneet vesimolekyylien ja muiden orgaanisten molekyylin kanssa saveksen pintaan tai kerrosten väliin. Pääosa varauksettomista molekyyleistä kuten triatsiinit (pH 5:n yläpuolella) ja ureat pidättyvät erityisen heikoilla sidoksilla ja ovat siten alttiimpia irtautumiselle. Mailla, joiden orgaanisen aineksen tai saveksen määrä on korkea, suositeltu maaherbisidin käyttömäärä on keskimääräistä korkeampi riittävän tehon turvaamiseksi (taulukko 1.)

Taulukko 1. Atratsiini-valmisteen myyntipäällystekstin suositukset heinien ja leveälehtisten rikkakasvien torjuntaan USA:ssa (GERBER ym. 1983).

Maalaji	kg tehoainetta/ha
KARKEA hieta, hiesuinen hieta, hietainen hiesu	2,2
KESKIKARKEA hiesu ja savinen hieta, orgaanisen aineksen määrä alhainen	2,7
HIENO hiesu ja savinen hieta, orgaanisen aineksen ja saven määrä kohtalainen tai korkea	3,4

4. MAAN HAPPAMUUS JA RAVINNETILA

Maan happamuus vaikuttaa kasvien herbisidin ottoon joko suoraan säätelemällä ionisoitumista ja tunkeutumista kasviin tai epäsuorasti vaikuttamalla herbisidin pidättymiseen ja siten sen käyttökelpoisuuteen (SCHMIDT ja PESTEMER 1980). Maan pH:n vaikutus kunkin herbisidin käyttäytymiseen on riippuvainen tämän kemikaalin molekyylien ominaisuuksista. Molekyylin mahdollisuus olla pysyvästi varautunut, ionisoituva tai neutraali selittää maan happamuuden vaikutuksen vaihtelun eri herbisideillä (CALVET 1980). Heikkojen happojen ja heikkojen emästen fytotoksisuus lisääntyy, kun pH nousee (CORBIN ym. 1971). Happamissa maissa taas näiden pidättyminen lisääntyy ja käyttökelpoisuus vähenee (SCHMIDT ja PESTEMER 1980).

Maan happamuus vaikuttaa herbisidin hajaantumiseen suoraan, jos kemikaalin pysyvyys on pH:sta riippuvainen tai epäsuorasti johtuen maan happamuuden vaikutuksesta herbisidin pidättymiseen tai maan mikroflooran koostumukseen ja määrään (HURLE ja WALKER 1980).

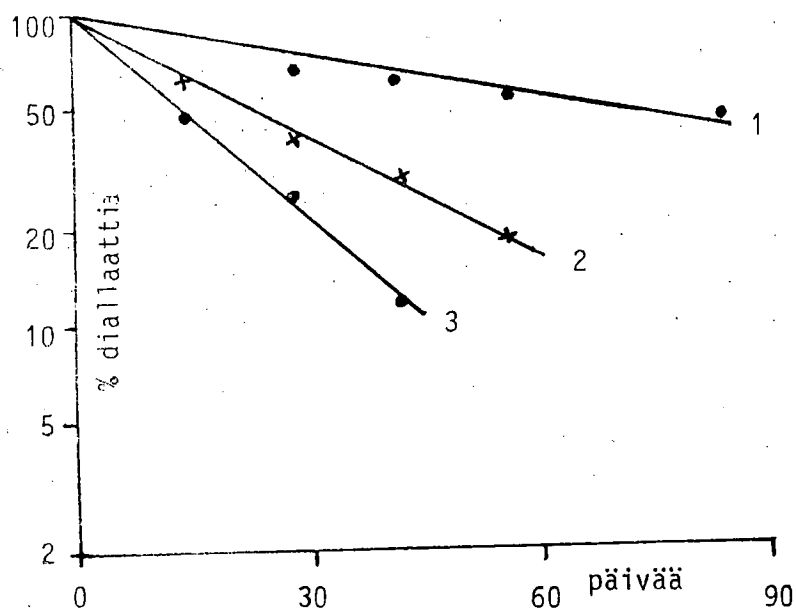
Useiden tutkimustulosten perusteella esimerkiksi atratsiini ja simatsiini hajoavat nopeammin alhaisessa pH:ssa johtuen hydrolyysin lisääntymisestä (NEARPASS 1956, BEST ja WEBER 1974, HILTBOLD ja BUCHANAN 1977, WALKER ja THOMPSON 1977). Metributsiini ja prometryyni sen sijaan hajoavat hitaammin alhaisessa pH:ssa (BEST ja WEBER 1974, LADLIE ym. 1976a ja 1976b). Diuronin ja klorambeenin hajoaminen ei ole pH-sidonnaista (CORBIN ja UPCHURCH 1967). Useilla herbisideillä hajoaminen on voimakkainta siinä esiintyvien mikro-organismilajien kasvulle optimi pH:ssa.

Maan pinta sisältää positiivisesti ja negatiivisesti varautuneita paikkoja, vaikkakin viljelylle normaalissa pH:ssa negatiivisten paikkojen osuus on selvästi suurempi (FRYER ja MAKEPEACE 1977). Maan orgaanisten kolloidien pinnalla pH saattaa olla yli 2 yksikköä alhaisempi kuin ympäröivässä maanesteessä (STEVENSON 1982). Maan kalkitseminen johtaa pH:n nousuun ja siten yleensä lisää maan mikrobiaktiivisuutta.

Maan ravinnetason vaikutuksesta herbisidien aktiivisuuteen pelto-oloissa on vähän tutkimuksia ja tulokset ovat vaihtelevia. Merkityksen voidaan katsoa olevan suhteellisen pienen verrattuna maan muiden ominaisuuksien vaikutukseen (WALKER 1980). Maan ravinnetilalla ja ravinteiden tasapainolla on kuitenkin suora vaikutus kasvin optimaaliseen kasvuun ja sitä kautta herbisidin ottoon (MINSHALL ym. 1977, SHMIDT ja PESTEMER 1980). Kivennäissuolojen läsnäolo voi toisaalta vähentää herbisidin liukoisuutta ja siten käyttökelpoisuutta. Eri maatalouskemikaaleilla voi olla suora vaikutus herbisidin pysyvyyteen esimerkiksi mikrobientsyymien ehkäisijänä tai koostumuksen muuttajana ja epäsuora vaikutus mikro-organismien kasvun stimuloijana tai estäjänä (GUTH 1980).

5. MAAN MIKRO-ORGANISMIT

Herbisidit hajoavat maassa fotokemiallisesti, kemiallisesti ja mikrobiologisesti. Näistä mikrobihajotus on merkittävin. Sen määrään ja tapaan vaikuttavat mm. herbisidien ominaisuudet, viljelytekniikka ja ympäristötekijät (maan kosteus, lämpötila, pH, O_2 -pitoisuus ja ravinnetaso) (kuva 3). Lauhkealla vyöhykkeellä maan biokemiallinen aktiivisuus on suurimmillaan myöhäiskevästä varhaiseen syksyyn. Maan optimilämpötila hajoamiselle on $15^{\circ}C - 30^{\circ}C$. Hajoamista tapahtuu harvoin alle $+5^{\circ}C$ (LUSCOMBE 1983).



Kuva 3. Diallaatin hajaantumisnopeus erilaisen mikrobiaktiivisuuden omaavilla maalajeilla aerobisissa oloissa lämpötilan ollessa $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (GUTH 1980).

1. hieno hieta: pH = 5,6, orgaanista hiiltä 2,2%, savesta 8,8%, hiesua 6,4%, hietaa 84,8%.
2. hieno hieta: pH = 8,0, orgaanista hiiltä 1,5%, savesta 3,0%, hiesua 14,6%, hietaa 82,4%.
3. hietainen hiesu: pH = 7,8, orgaanista hiiltä 1,8%, savesta 6,3%, hiesua 24,4%, hietaa 69,3%.

Maan orgaaniselle ainekselle ominainen lämpötila ja ilmatilavuus ovat suotuisia mikrobeille ja lisäävät mikrobiaktiivisuutta. Kuitenkin orgaanisen aineksen määrän noustessa myös pidättyminen lisääntyy ja herbisidi siirtyy siten suojaan hajaantumiselta. Toisaalta pidättynyt herbisidi voi hajota nopeastikin mikro-organismien tiheyden ollessa suurempi lähellä kolloidin pintaa kuin maanesteessä (HURLE ja WALKER 1980). Maalajin vaikutuksesta mikrobiaktiivisuuteen esiintyy kirjallisuudessa ristiriitaisia tietoja (TORSTENSSON 1980).

Herbisidin kulkeutuessa kylvökerroksen alapuolelle hajaantumisnopeus saattaa vähentyä maan ympäristötekijöiden muuttumisen seurauksena (HURLE ja WALKER 1980).

Kasvien juuriston alueella mikro-organismien lukumäärä, tyyppi ja aktiivisuus ovat erilaisia verrattuna juuriston ulkopuolella eläviin. Kasvien läsnäololla ei ollut kuitenkaan merkittävää vaikutusta esimerkiksi isoproturonin hajaantumisen määrään (MUDD ym. 1983).

Eräät yhdisteet (esim. fenoksialkaanihapot) voivat aiheuttaa sopeutumista maan mikrobipopulaatiossa. Tällöin uusintakäsittelyt samalla herbisidillä saattavat hajota selvästi nopeammin kuin ensimmäinen, jollei väli uusintaan ole liian pitkä (HURLE ja WALKER 1980). Useimmat herbisidit vaikuttavat mikro-organismeihin ja niiden biokemialliseen aktiivisuuteen. Negatiivinen vaikutus on kuitenkin miltei poikkeuksetta yhteydessä ylisuurin annoksiin.

6. MAAN LÄMPÖTILA

6.1. Vaikutus käyttökelpoisuuteen

Maan lämpötila on yleensä vähän korkeampi kuin ilman lämpötila. Maa toimii puskurina siten, että maassa lämpötilamuutokset ovat hitaampia. Syvemmällä vuorokautiset lämpötilavaihtelut ovat enää hyvin pieniä (taulukko 2). Pellossa kasvin juurten eri osien lämpötila voi olla erilainen (BLAIR 1983).

Taulukko 2. Ilman ja maan lämpötilat mitattuna WRO-sääasemalla (BLAIR 1983).

Pv	Ilma		Maa							
	Max	Min	1,5 cm		2,5 cm		5,0 cm		10,0 cm	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
21.2.83	3.4	-1.7	2.4	-0.3	1.8	0.2	1.3	0.3	1.3	0.8
22.2.83	3.8	-3.7	3.5	-2.2	2.1	-0.7	1.0	0.1	1.2	0.7
23.2.83	5.1	-3.5	4.3	-2.9	1.8	-1.4	0.8	-0.5	1.0	0.4
24.2.83	5.7	2.1	4.8	1.5	4.4	1.3	3.9	1.1	3.3	1.1
25.2.83	6.4	4.4	6.1	3.6	5.8	3.5	5.4	3.4	4.6	3.1

Maan lämpötila vaikuttaa maaherbisidin käyttökelpoisuuteen muuttamalla herbisidin liukoisuutta, haihtuvuutta, pidättymistä ja hajaantumista. Kaasuuntuvien herbisidien diffuusio kasvaa lämpötilan noustessa. Myös pintamaan kuivuminen nopeutuu. Näin yleensä maan pintakerrokseen kertyneen herbisidin käyttökelpoisuus vähenee pidättymisen lisääntyessä. Lämpötila vaikuttaa kasvin haihduttaman veden määrään ja sitä kautta veden ja siihen liuenneen herbisidin ottoon ja liikkumiseen kasvissa (BLAIR 1983). Yleensä herbisidin otto on runsainta kunkin kasvilajin kasvulle optimilämpötilassa (GERBER ym. 1983). Luonnossa lämpötilan, kosteuden ja valon muutokset ovat toisistaan riippuvaisia. Runsaat valon määrä on usein yhdistynyt korkeaan lämpötilaan ja alhaiseen ilman kosteuteen, jotka kaikki lisäävät haihtumisen (transpiraatio) määrää.

Maaherbisidin aktiivisuuden kannalta sääolot ovat usein maalajin merkitystäkin tärkeämmät (HANCE ym. 1968). Vuorovaikutus lämpötilan ja herbisidin aktiivisuuden välillä on kuitenkin monimutkaisempi kuin maan kosteuden ja aktiivisuuden välillä (EAGLE 1983).

6.2. Vaikutus pysyvyyteen

Koska maan lämpötilan nousu lisää biologisten ja ei-biologisten prosessien määrää maassa, herbisidin hajaantuminen näin nopeutuu (WALKER 1970, WALKER ja EAGLE 1983). Riittävän kosteuden vallitessa korkea lämpötila lyhentää herbisidin pysyvyyttä ja vaikuttaa siten myös sen käyttökelpoisuuteen (EAGLE 1983).

FETVADJIEVA ja NIKOLOVA (1983) totesivat tutkimuksessaan, että mitä korkeampi ilman lämpötila oli (välillä 0°C - 30°C), sitä voimakkaammin maan kosteuden kasvu (välillä 20% - 60% kenttäkapasiteetista) lisäsi herbisidien hajaantumista. Useissa eri maissa yhteensä kuudellatoista koepaikalla suoritetut tutkimukset osoittivat, että simatsiinin hajaantumisen riippuvuus lämpötilasta oli merkitsevä ja samanlainen eri maalajeilla (WALKER ym. 1983). Lämpötilan nousu 10°C :sta 30°C :seen lisäsi hajaantumisnopeutta 2-5 kertaisesti (taulukko 4).

7. MAAN KOSTEUS

7.1. Vaikutus käyttökelpoisuuteen

Maaherbisidin mahdollisimman suuren aktiivisuuden edellyttämä sademäärä riippuu herbisidin liukoisuudesta, maan rakenteesta, orgaanisen aineksen määrästä sekä torjuttavista rikkakasvilajeista ja niiden itämissyvyydestä (LeBARON 1970).

Kosteusolot ovat optimaaliset, kun herbisidi liukenee maahan ja siirtyy riittävässä pitoisuutena rikkasiementen itämisvyöhykkeelle ilman, että aiheutuu ylimääräistä kulkeutumista syvemmälle.

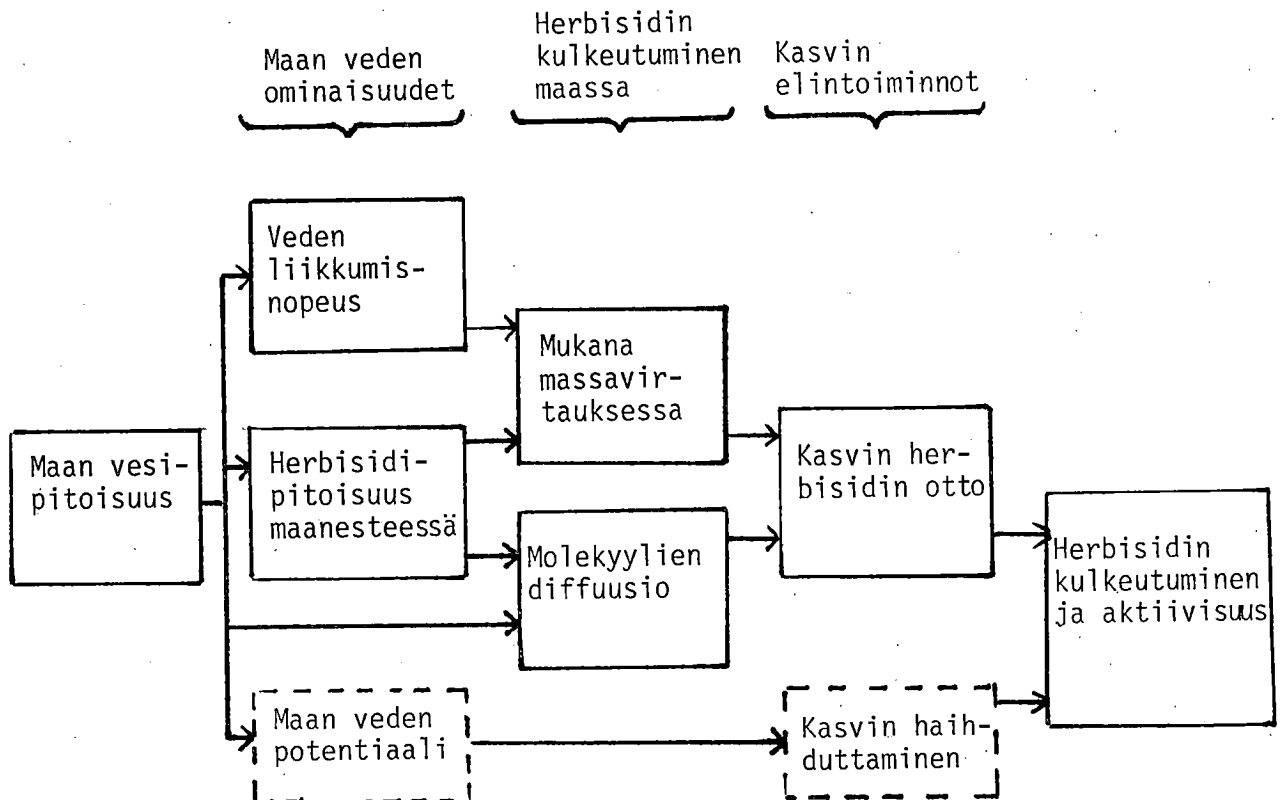
Taulukko 3. Eri maissa sijaitsevien kuudentoista koepaikan maalajien ominaisuuksia (WALKER ym. 1983).

Koepaikka	nro	sijainti	Hiukkasjakauma				pH	Kenttäkapasit. vettä paino-% maan painosta
			org. hiili %	saves %	hieta %	hiesu %		
	1	Warwick, Englanti	1.30	20	75	5	6.6	17.0
	2	Regina, Saskatchewan, Kanada	4.00	69	5	26	7.7	40.0
	3	Firenze, Italia	0.98	14	59	27	6.7	23.0
	4	Uppsala, Ruotsi	3.60	42	28	30	6.5	28.7
	5	Braunschweig, Länsi-Saksa	0.99	12	49	39	6.5	23.9
	6	Alberta, Kanada	1.26	32	41	27	7.8	24.9
	7	Oxford, Englanti	2.10	15	66	19	5.8	18.0
	8	Harrow, Ontario, Kanada I	0.52	5	88	7	5.2	14.0
	9	Harrow, Ontario, Kanada II	1.50	8	78	14	5.6	23.0
	10	Wageningen, Hollanti	2.38	3	89	8	5.6	18.3
	11	Maarn, Hollanti	1.40	3	93	4	5.6	8.0
	12	Summerland, British Columbia, Kanada	0.71	5	79	16	7.5	10.0
	13	Harpenden, Englanti	1.75	35	31	34	7.5	28.2
	14	Taipei, Taiwan	1.91	16	56	28	5.6	19.4
	15	Taichung, Taiwan	1.43	31	42	27	5.2	30.3
	16	Los Bános, Laguna, Filippiinit	1.74	31	18	51	5.6	26.0

Taulukko 4. Lämpötilan ja kosteuden vaikutus simatsiin puoliintumisaikaan (päiviä) laboratoriotutkimusten perusteella (WALKER ym. 1983).

Koepaikka	nro	sijainti	Lämpötila (°C)	Kosteus				30	
				(% kenttäkapasit.)	20	40	60		90
	1	Warwick	20	137	92	75	50	120	29
	2	Saskatchewan	20	-	230	156	114	274	78
	3	Firenze	20	53	48	45	39	147	31
	4	Uppsala	20	157	125	88	102	230	76
	5	Braunschweig	20	82	73	58	58	214	42
	6	Alberta	20	237	160	140	125	283	59
	7	Oxford	20	229	113	62	34	55	26
	8	Ontario I	20	77	69	59	62	134	30
	9	Ontario II	20	71	60	68	71	123	33
	10	Wageningen	20	67	62	57	50	74	27
	11	Maarn	20	26	26	24	21	44	17
	12	British Columbia	20	90	57	49	42	190	28
	13	Harpenden	20	-	75	59	46	112	190
	14	Taipei	20	73	66	75	39	108	25
	15	Taichung	20	64	67	53	55	153	31
	16	Laguna	20	476	28	25	24	67	11

Jos ilman suhteellinen kosteus on alhainen ja maassa on riittävästi kosteutta, haihdunta maan pinnalta ja kasveista (evapotranspiraatio) lisääntyy, ja siten herbisidin siirtyminen kasviin voimistuu (BLAIR 1983). Kasvit voivat ottaa vain niille käyttökelpoiseen veteen liuenneen herbisidin (SCHMIDT ja PERTEMER 1980). Kosteassa maassa pidätyminen vähenee ja maanesteen herbisidipitoisuus kasvaa lisäten herbisidin käyttökelpoisuutta ja oton määrää (kuva 4). Kuivemmassa maassa maanesteessä oleva osa herbisidin kokonaismäärästä on alhaisempi. Maan kaasufaasissa aktiivisen herbisidin diffuusio sen sijaan pienenee kosteuden lisääntyessä (EAGLE 1983).



Kuva 4. Kaavakuva maan vesipitoisuuden vaikutuksesta maaherbisidin tehoon silloin, kun vesipitoisuus on lakastumisrajan yläpuolella (GREEN ja OBIEN 1969).

Maaherbisidin rikkakasvitehon kannalta olennaista on maan kosteustilanne ruiskutushetkellä ja muutamia vuorokausia ruiskutuksen jälkeen (WALKER ja ROBERTS 1975). Sateen voimakkuus vaikuttaa herbisidin liikkumiseen maaprofiilissa. Vettä tulee maanpinnalle sateen ja pohjaveden liikkumisen seurauksena. Sade ei kuitenkaan aina aiheuta herbisidin liikkumista alaspäin. Sateen vaikutus riippuu maan kosteudesta ennen herbisidikäsittelyä, sateen ajankohdasta sekä sitä seuraavasta kokonaishaihdunnasta (CLAY 1983, ZARAGOZA ym. 1983).

Kesällä pintamaa kuivuu sateen jälkeen hyvin nopeasti. STICKLERin ym. (1969) tutkimuksissa lakastumispiste saavutettiin pintamaassa (0 - 2,5 cm) keskimäärin kahden vuorokauden kuluttua ja 2,5 - 5 cm:n syvyydessä viiden vuorokauden kuluttua sateesta. Useimmat fotosynteesin estäjäherbisidit pidättyvät 1-5 cm:n pintakerrokseen, joka on alttein nopean kuivumisen ja kastumisen vaihteluille (HANCE ym. 1981, GERBER ym. 1983). Kevyiden maiden veden pidätyskyky on alhainen, ja ne kuivuvat nopeasti. Herbisidi liikkuu niissä suodattuvan veden mukana tehokkaammin kuin orgaanista ainesta ja savesta sisältävillä maalajeilla (EAGLE 1983).

7.2. Vaikutus pysyvyyteen

Herbisidien hajaantumisnopeus yleensä lisääntyy kosteissa oloissa (HURLE ja WALKER 1980, EAGLE 1983, SCHMITH ja HSIAO 1983). Kuudellatoista eri koepaikalta suoritettujen tutkimusten perusteella simatsiinin hajoaminen oli selvästi riippuvainen maan kosteudesta (WALKER ym. 1983). Eri maalajien kesken esiintyi kuitenkin huomattavaa vaihtelua, mikä heijasti eroja herbisidien hajoamiselle tärkeissä maan ominaisuuksissa.

Lauhkean vyöhykkeen alueella kevään ja kesän kokonaishaihdunta on yleensä kokonaissademäärää suurempi. Siksi herbisidin kulkeutuminen maassa on tällöin suhteellisen rajoitettua. Syksyn ja talven aikana tilanne on päinvastainen, ja herbisidijäämät saattavat liikkua enemmän (LEISTRA 1980, NICHOLLS ym. 1983).

KIRJALLISUUSLUETTELO

- BAUMAN, T. T. 1976. Movement and persistence of atrazine in soil with three tillage systems. Ph. D. Thesis, Purdue University.
- BEST, J. A. & WEBER, J. B. 1974. Disappearance of s-triazines as affected by soil pH using a balance sheet approach. *Weed Sci.* 22: 364 - 373.
- BLAIR, A. M. 1983. Some problems associated with studying effects of climate on the performance of soil-acting herbicides. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 379 - 388.
- BOESTEN, J. J. T. I. & PAS, L. J. T. van der, 1983. Test of some aspects of a model for the adsorption/desorption of herbicides in field soil. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 495 - 501.
- CALVET, R. 1980. Adsorption-desorption phenomena. Interactions between herbicides and the soil. p. 1 - 30. London.
- CLAY, D. V. 1983. The effect of irrigation treatments on the phytotoxicity of soil-acting herbicides to strawberries. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 403 - 411.
- CORBIN, F. T. & UPCHURCH, R. P. 1967. Influence of pH on detoxification of herbicides in soil. *Weeds* 15: 370 - 377.
- , UPCHURCH, R. P. & SELMAN, F. L. 1971. Influence of pH on the phytotoxicity of herbicides in soil. *Weed Sci.* 19: 233 - 239.
- EAGLE, D. J. 1983. An agronomic view of environmental effects on the performance of soil-applied herbicides. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 389 - 394.
- EMBLING, S. J., COTTERILL, E. G. & HANCE, R. J. 1983. Effect of heat-treating soil and straw on the subsequent adsorption of chlortoluron and atrazine. *Weed Res.* 23: 357 - 363.
- FETVADJIEVA, N. & NIKOLOVA, G. 1983. Effects of temperature and soil moisture on loss of soil-applied herbicides. 10th International Congress of Plant Protection 1983, 2: 561.
- FRYER, J. D. & MAKEPEACE, R. J. (ed.) 1977. *Weed control handbook: Principles*, 67 - 154. 6th ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh, Melbourne.

- GERBER, H. R., NYFFELER, A. & GREEN, D. H. 1983. The influence of rainfall, temperature, humidity and light on soil- and foliage-applied herbicides. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 1 - 14.
- GREEN, R. E. & OBIEN, S. R. 1969. Herbicide equilibrium in soils in relation to soil water content. *Weed Sci.* 17: 514 - 519.
- GUTH, J. A. 1980. The study of transformations. Interactions between herbicides and the soil. p. 123 - 157. London.
- HANCE, R. J., HOCOMBE, S. D. & HOLROYD, J. 1968. The phytotoxicity of some herbicides in field and pot experiments in relation to soil properties. *Weed Res.* 8: 136 - 144.
- 1980. Transport in the vapour phase. Interactions between herbicides and the soil. p. 59 - 81. London.
- , EMBLING, S. J., HILL, D., GRAHAM - BRYCE, I. J. & NICHOLLS, P. 1981. Movement of fluometuron, simazine, $^{36}\text{Cl}^-$ and $^{144}\text{Ce}^{3+}$ in soil under field conditions: qualitative aspects. *Weed Res.* 21: 289 - 297.
- 1983. Processes in soil which control the availability of pesticides. 10th International Congress of Plant Protection 1983, 2: 537 - 544.
- HILTBOLD, A. E. & BUCHANAN, G. A. 1977. Influence of soil pH on persistence of atrazine in the field. *Weed Sci.* 25: 515 - 520.
- HURLE, K. & WALKER, A. 1980. Persistence and its prediction. Interactions between herbicides and the soil. p. 83 - 122. London.
- JARCZYK, H. J. 1983. Investigations on the leaching behaviour of herbicides under natural agronomic conditions of lysimeter-monoliths. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 441 - 448.
- KULSHRESTHA, G. 1983. Persistence of the herbicide isoproturon in soil. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 413 - 422.
- LADLIE, J. S., MEGGITT, W. F. & PENNER, D. 1976a. Effect of soil pH on microbial degradation, adsorption and mobility of metribuzin. *Weed Sci.* 24: 477 - 481.
- , MEGGITT, W. F. & PENNER, D. 1976b. Role of pH on metribuzin dissipation in field soils. *Weed Sci.* 24: 508 - 511.
- LeBARON, H. M. 1970. Ways and means to influence the activity and the persistence of triazine herbicides in soil. *Residue Rev.* 32: 311 - 353.
- LEISTRA, M. 1980. Transport in solution. Interactions between herbicides and the soil. p. 31 - 58. London.

- LUSCOMBE, B. M. 1983. The influence of rainfall and temperature on the persistence of autumn-applied triallate and isoproturon in the 1979/80 and 1980/81 seasons. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 423 - 432.
- MINSHALL, W. H., SAMPLE, K. C. & ROBINSON, J. R. 1977. The effect of urea on atrazine uptake from soil. *Weed Sci.* 25: 460 - 464.
- MUDD, P. J., HANCE, R. J. & WRIGHT, S. J. L. 1983. The persistence and metabolism of isoproturon in soil. *Weed Res.* 23: 239 - 246.
- MUKULA, J. 1980. *Herbisidit. Kasvinsuoj, seur. Julk* 63. 111 p. Helsinki.
- NEARPASS, D. C. 1965. Effects of soil acidity on the adsorption, penetration and persistence of simazine. *Weeds* 13: 341 - 346.
- NICHOLLS, P. H., BRIGGS, G. G. & EVANS, A. A. 1983. Simulation of herbicide movement soils in winter. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 485 - 494.
- OORSCHOT, J. L. P. van, 1983. The influence of transpiration conditions on root absorption and translocation of herbicides. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 207 - 216.
- SCHMIDT, R. R. & PESTEMER, W. 1980. Plant availability and uptake of herbicides from the soil. *Interactions between herbicides and the soil.* p. 179 - 201. London.
- SMITH, A. E. & HSIAO, A. I. 1983. Persistence studies with the herbicide sethoxydim in prairie soils. *Weed Res.* 23: 253 - 257.
- STEVENSON, F. J. 1982. *Humus chemistry. Genesis, composition and reactions.* 443 p. New York, Chichester, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons.
- STICKLER, R. L., KNAKE, E. L. & HINESLEY, T. D. 1969. Soil moisture and effectiveness of pre-emergence herbicides. *Weed Sci.* 17: 257 - 259.
- TORSTENSSON, L. 1980. Role of microorganisms in decomposition. *Interactions between herbicides and the soil.* p. 159 - 178. London.
- WALKER, A. 1970. Persistence of pronamide in soil. *Pestic. Sci.* 1: 237 - 239.
- 1973. Vertical distribution of herbicides in soil and their availability to plants: treatment of different proportions of the total root system. *Weed Res.* 13: 416 - 421.
- & ROBERTS, H. A. 1975. Effects of incorporation and rainfall on the activity of some soil-applied herbicides. *Weed Res.* 15: 263 - 269.
- & THOMPSON, J. A. 1977. The degradation of simazine, linuron and propyzamide in different soils. *Weed Res.* 17: 399 - 405.
- 1980. Activity and selectivity in the field. *Interactions between herbicides and the soil.* p. 203 - 222. London.

- et al. 1983. EWRS Herbicide-Soil Working Group: Collaborative experiment on simazine persistence in soil. *Weed Res.* 23: 373 - 383.
 - & EAGLE, D. J. 1983. Prediction of herbicide residues in soil for advisory purposes. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environment factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 503 - 509.
- ZARAGOZA, C., OCHOA, M. J., SOPENA, J. M. & LORENTE, M. 1983. The effects of flood irrigation on the activity of atrazine and atrazine + metolachlor applied post-emergence to maize. *Aspects of Applied Biology* 4, Influence of environmental factors on herbicide performance and crop and weed biology, 1983: 433 - 439.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982. 48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailta. Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982. 186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin. 13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallgödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMAKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaiistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p. + 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13.
- Humuspitoiset lannoitteet p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalyseter i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätkuivon, ohran ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESP00 - INK00. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyn avulla. 63 p.

1984

2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimaililla. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalehmien vertailu kotoisilla rehuilla. 7 p. + 18 liitettä.

4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuoneto- maatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien ver- tailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan ilmastus kasvihuonekurkulla ja tomaatilla. 21 p.
6. VUORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokoiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskokeiden tuloksia 1978-83. 42 p.
11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitus- tarpeen ilmaisijoina. 20 p.
12. RAVANTTII, S. Terhi-punanata. 37 p.
13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maalajeissa. 10 p.
14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, S. & MATTILA, L. Virallisten lajikeko- keiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäytymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.

