

ODC  
414.13  
414.22

# FOLIA FORESTALIA<sup>238</sup>

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1975

---

---

MIRJA RUOKONEN

LEHTIEN KAUTTA ANNETUN FENOKSI-  
HERBISIDIN KÄYTTÄYTYMINEN KASVISSA  
KIRJALLISUUTEEN PERUSTUVA  
TARKASTELU

THE BEHAVIOUR OF LEAF-APPLIED  
PHENOXY-HERBICIDES IN PLANTS  
A STUDY BASED ON LITERATURE

---

- No 178 Matti Leikola & Jyrki Raulo: Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten III. Taimien morfologisten tunnusten muuttuminen kasvukauden aikana. Investigations on the basis for grading nursery stock III. Changes in morphological characteristics of nursery stock during the vegetation period. 2,—
- No 179 Paavo Valonen & Matti Ahonen: Vajaakarsinta ja silmävarainen apteeraus kuusisaha-puun teossa. The partial limbing and ocular marking for crosscutting in the preparation of spruce sawlogs. 4,—
- No 180 Pentti Rikonen: Havusahatukkien latvamuotoluvut erilaisia läpimittaluokituksia käytettäessä. 1,—
- No 181 Veijo Heiskanen: Havusahatukkien kapeneminen ja latvamuotoluku Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Taper and top form factor of coniferous sawlogs in Kainuu and North Ostrobothnia regions. 2,—
- No 182 Veijo Heiskanen & Jorma Riikonen: Kuitupuun kehysmitta ja pinotiheys autokuljetuksen eri vaiheissa. Piled measure and solid volume content of pulpwood piles in various phases of truck transportation. 2,50.
- No 183 Heikki Nikkilä: Kylvitiheysmenetelmä kuitupuupinon kiintomitan määrittämisessä. The pile face density method in measuring the solid volume of a pulpwood pile. 4,—
- No 184 Olavi Saikku: Lannoituksen vaikutuksesta männyn kuoren määrään kangasmaalla. The effect of fertilization on the amount of the bark of Scotch pine in forest land. 1,50
- No 185 Kaj Asplund, Erkki Lähde & Erkki Numminen: Vajaasti kypsyneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana. On the development of incompletely ripened seeds of Scots pine in cones under storage. 1,50.
- No 186 Esko Jaatinen: Recreational utilization of Helsinki's forests. 4,—
- No 187 Markku Mäkelä: Kanto- ja liekopuun korjuu polttoturvesoilta. Harvesting of stump and moor wood from fuel peat bogs. 2,—
- No 188 Pirkko Velling: Männyn (*Pinus silvestris* L.) puuaineen tiheyden fenotyypisistä ja geneettisistä vaihtelusta. Phenotypic and genetic variation in the wood basic density of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). 3,—
- No 189 Risto Seppälä: Yksityismetsänomistajien hakkuukäyttätyminen Suomen itäosissa. Cutting behaviour of private forest owners in eastern Finland. 4,—
- No 190 Risto Seppälä: Raakapuun tarjonnasta Suomessa. On the supply of roundwood in Finland. 4,—
- No 191 Kullervo Kuusela & Alli Salovaara: Ahvenanmaan maakunnan, Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakunnan metsävarat vuosina 1971—72. Forest resources in the District of Ahvenanmaa, and the Forestry Board Districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pirkka-Häme, Itä-Häme, Etelä-Savo and Etelä-Karjala in 1971—72. 7,—
- No 192 Paavo Tiihonen: Puutavaralajirakenteen likimääräisarvioinnissa käytettäviä menetelmiä. Methoden für die annähernde Schätzung des Holzsortenstruktur. 7,—
- No 193 Terho Huttunen: Suomen sahateollisuus vuonna 1972. The sawmill industry in Finland in 1972. 4,—
- No 194 Ukko Rummukainen: Herbisidiraakeiden männyn- ja kuusentaimille aiheuttamista kuorivioituksista. On bark damages caused to Scots pine and Norway spruce plantations by granular herbicides. 2,—
- No 195 Metsätalastollinen vuosikirja 1972. Yearbook of forest statistics 1972. 12,—
- No 196 Erkki Lähde: The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of Pine (*Pinus silvestris* L.) seed. Kylvösuojan ja kylmästratifiointin vaikutus männyn siemenen itämiseen. 2,—
- No 197 Erkki Lähde & Kaarlo Kinnunen: Paperikennon ja turveruokun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. The relationship between the wall strength of paper and peat pots and the initial development of seedlings in Northern Finland. 2,—
- No 198 Esko Jaatinen: Metsäteollisuusyhtiöiden omien metsien hakkuupolitiikan motiivit. Timber cutting motives of forest industry enterprises. 4,—
- No 199 Esko Leinonen: Purunäytteeseen perustuvasta kuivapainomittauksesta. Dry-weight scaling based on chip samples. 3,—
- No 200 Pentti Hakkilä & Markku Mäkelä: Jatkotutkimuksia Pallarin kantoharvesterista. Further studies of the Pallari Stumpharvester. 2,—
- No 201 Matti Leikola & Risto Rikala: Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla. The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce on mineral soils. 2,—

Mirja Ruukonen

LEHTIEN KAUTTA ANNETUN FENOKSIHERBISIDIN KÄYTTÄYTYMINEN  
KASVISSA. KIRJALLISUUTEEN PERUSTUVA TARKASTELU

The behaviour of leaf=applied phenoxy=herbicides in plants  
A study based on literature

ALKUSANAT

Oheinen julkaisu on kirjallisuuskatsausosa vuonna 1972 Metsäntutkimuslaitoksessa työskennellessäni valmistuneesta tutkimuksestani ”Kloorattujen fenoksietikkahappojen käytöstä herbisideinä ja niiden aiheuttamista vioituksista havupuiden taimiin”.

Ennenkuin työ ehti painokuntoon, sain tutkimusapurahan Japaniin. Olen edelleen sillä matkalla.

Olen saanut tietää eri tahoilla toivottavan, että kirjallisuuskatsaus julkaistaisiin suomen-

kielisenä erikseen. Kun kysymyksessä on ajankohtaisia torjunta-aineita koskeva yhteenvedo, jota vieraalle kielelle tuskin on asiallista kääntää, ja kun sen erillisenä painattaminen ei haittaa tutkimuksen muun osan julkaisemista, en omasta puolestanikaan ole halunnut erillistä julkaisemista vastustaa.

Kiitän kaikkia niitä henkilöitä, jotka eri tavoin ovat minua auttaneet työn saattamisessa painokuntoon.

Sapporossa, 2.2.1975

Mirja Ruukonen

## SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. JOHDANTO .....	3
2. YLEISTÄ .....	3
3. TUNKEUTUMINEN LEHDEN PINNAN LÄPI .....	4
31. Pinnan ominaisuudet ja niiden vaikutus .....	4
32. Herbisidivalmisteen laadun vaikutus .....	6
321. Esteri vai suola .....	6
322. Eri esterit .....	7
33. Kantaja-aineen vaikutus .....	7
34. Pinta-aktiivisten aineiden vaikutus .....	8
4. KULKEUTUMINEN KASVISOLUKOSSA .....	9
41. Tutkimusmenetelmät .....	9
42. Esteristä vapaaksi hapoksi .....	10
43. Missä ja miten kulkeutuminen tapahtuu .....	11
5. HAJOAMINEN JA SITOUTUMINEN MUIHIN AINEISIIN .....	12
6. VAIKUTUSMEKANISMI .....	13
7. VALIKOIVUUS .....	16
8. KIRJALLISUUTTA .....	19
9. SUMMARY .....	23

## 1. JOHDANTO

Kun lähtee tutustumaan fenoksiherbisidejä<sup>1)</sup> koskevaan kirjallisuuteen, joutuu aluksi "herra-  
auta-meitä-me-hukumme" -tunnelman valtaan. Tuskin kovin moneen muuhun aiheeseen kasvi-  
tieteessä on käytetty yhtä paljon paperia ja painomustetta kuin juuri esim. 2,4-D:ta ja 2,4,5-T:tä käsittelevien koetulosten julkaisemiseen. Kunnioitettavaa aktiivisuutta, kun otetaan huomioon, että näiden aineiden käyttöä herbisideinä on tutkittu vasta 30 vuotta (GYSIN 1960, KLINGMAN 1961).

On tarkoituksetonta ryhtyä vertailemaan eri tutkijoiden saamia koetuloksia toisiinsa sellaisinaan, koska koeolosuhteet tuskin ovat koskaan olleet täysin identtiset. Toiset kokeet on tehty kasvihuoneessa tai peräti laboratoriossa, toiset vaihtelevissa kenttäoloissa. Sitäpaitsi esi-

merkiksi lämpötilan tai muiden ympäristötekijöiden mittaustuloksia esiintyy julkaisuissa perin harvoin, ellei vartavasten ole tutkittu kyseisen tekijän vaikutusta koekasvin herbisidinkestävytyteen. Jopa tutkimusmenetelmä näyttää vaikuttaneen saatuihin tuloksiin (GRAFTS 1956), vaikka se ei liene tarkoitus. Arvokkainta tietoa on saatavissa kokeista, joissa samoissa olosuhteissa on verrattu esim. eri herbisidityyppejä tai niiden vaikutusta eri kasvilajeihin.

Seuraavassa tarkastelussa on tarkoitus ensi sijassa rajoittua seuraamaan 2.4-di- ja 2,4,5-triklorfenoksietikkahapon käyttäytymistä kasveissa silloin, kun herbisidikäsittely on tapahtunut lehtien kautta. Muita menetelmiä käsitellään vain, jos se koetulosten tulokinnan kannalta on välttämätöntä.

## 2. YLEISTÄ

Kasvuainetyypisille herbisideille on ominaista, että niiden on kulkeuduttava kasvisolu-  
kossa pitkiäkin matkoja päästäkseen tehokkaimmin vaikuttamaan (GRAFTS 1953a, 1960, PEEVY ja BURNS 1959, YAMAGUCHI ja GRAFTS 1959, BENGTSOON 1961, FOY 1964, SARGENT 1965). Näin on asianlaita teoriassa,

mutta käytäntö asettaa tälle kulkeutumiselle esteitä eri muodossa. Näistä ensimmäinen on pintakelmu eli kutikula, jonka läpi aineen on kuljettava (GRAFTS 1953a, 1960). Seuraava vaikeus on, miten luonteeltaan lipofiilisesta (rasvahakuisesta) pinnasta päästään edelleen hydrofiiliseen (vesihakuiseseen) ympäristöön (GRAFTS ja FOY 1962). Elävässä solukossa myös solujen sisäiset kalvot voivat olla kulkeutumisen estäjänä (VAN OVERBEEK 1956, SARGENT 1965). Lämpäistyään lehden pinnan ja mesofyllisolukon herbisidimolekyylit joutuvat kasvin johtosolukkaan, jossa kulkeutuminen edelleen tapahtuu. Puuvartisilla ja muilla monivuotisilla kasveilla tämä kuljetusvaihe on erityisen tärkeä, koska herbisidin joutuminen kasvin juuristoon on tehon kannalta välttämätöntä.

1) Täsmällisyyden vuoksi pitäisi erottaa käsitteet "herbisidi" ja "arborisidi". Tämä aiheuttaisi kuitenkin huomattavia hankaluuksia, koska ruoho- ja puuvartisilla kasveilla tehtyjä kokeita joudutaan käsittelemään sekaisin. Tästä syystä 2,4-D:stä ja 2,4,5-T:stä puhutaan tässä koko ajan käsitettä "herbisidi" käyttäen.

### 3. TUNKEUTUMINEN LEHDEN PINNAN LÄPI

#### 31. Pinnan ominaisuudet ja niiden vaikutus

Suurin osa tutkijoista on sitä mieltä, että fenoksiherbisidin tunkeutuminen kasvin lehteen tapahtuu pääasiassa kutikulan läpi (esim. NORMAN ym. 1950, GRAFTS 1953a ja b, HULL 1956, GRAFTS ja FOY 1962, EBELING 1963, FOY 1964, LINSKENS ym. 1965). Myös muita mahdollisuuksia on esitetty, kuten mekaaniset vauriokohdat (GRAFTS ja FOY 1962, FOY 1964) ja ilmaraot (SKOSS 1955). Esimerkiksi LINSKENS ym. (1965) ovat kuitenkin sitä mieltä, että tunkeutuminen ilmarakojen kautta on merkityksetöntä. Sitävastoin VAN OVERBEEK (1956), CURRIER ja DYBING (1959) ja CRAFTS ja FOY (1962) pitävät tätä mahdollisena, jos käytetään jotain pinta-aktiivista ainetta. Kutikulan läpi tunkeutumisen on päätelty tapahtuvan diffundoitumalla, ainakin aluksi (CRAFTS ja FOY 1962, FOY 1964). Tarkkaan ei tiedetä, missä vaiheessa aktiiviset prosessit tulevat kuvaan mukaan.

Kutikulan tärkeän merkityksen vuoksi on syytä tarkastella lähemmin sen ominaisuuksia herbisidin tunkeutumisen kannalta ja näihin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Jo käsite ”kutikula” on jossain määrin epämääräinen (CRAFTS ja FOY 1962, MARTIN ja JUNIPER 1970). Jotkut tutkijat sanovat sen koostuvan neljästä kerroksesta, jotka ovat pinnalta lähtien vaha-, kutiini-, pektiini- ja selluloosakerros (LINSKENS ym. 1965). Aina ei kuitenkaan ole selvää kerrosrakennetta (SARGENT 1965). Toiset kutsuvat uloimpia osia, joissa ei ole selluloosaa, kutikulaksi ja sisempiä kutikulaarisiksi kerroksiksi (MARTIN ja JUNIPER 1970). VAN OVERBEEK (1956) vertaa kutikulaa rakenteeltaan pesusieneen, jonka runkoaineksen muodostaa kutiini ja jonka huokoset ovat täyttyneet vahalla. Kutikulan ja selluloosapitoisen soluseinän välissä voi olla pektiinikerros (SARGENT 1965), mutta sitä ei ole suinkaan aina (MARTIN ja JUNIPER 1970). Kutikulan pinnalla olevassa vahakerroksessa on useilla kasveilla muodoltaan vaihtelevia ulokkeita (VAN OVERBEEK 1956, FOY 1964, LINSKENS ym. 1965). Mainittakoon, että mm. männyn neula-

sen pinta on tätä tyyppiä (MARTIN ja JUNIPER 1970, HANOVER ja REICOSKY 1971). Viimeksimainitut ovat tutkineet useiden havupuu-lajien neulasten vahapinnan rakennetta ja havainneet vahan eräillä lajeilla jopa tukkivan ilmarakoja. Yleisesti he toteavat vahan laadun, määrän ja jakautumisen vaihtelevan sekä lajien että saman lajin eri yksilöiden välillä, samoin kuin saman puun eri neulasten välillä.

Epätasainen vahapinta hylkii vettä tehokkaammin kuin sileä, koska nestepisara ei pääse kunnolla kosketuksiin lehden kanssa (CRAFTS ja FOY 1962, FOY 1964, SARGENT 1965, LINSKENS ym. 1965). Pinnan laatua tässä suhteessa on kuvattu ns. kontaktikulman avulla, joka on sitä suurempi, mitä enemmän vettä hylkivä pinta on. Kulman keskimääräinen suuruus vaihtelee eri kasvilajien, mutta myös saman kasvin lehden ylä- ja alapinnan välillä. MARTIN ja JUNIPER (1970) viittaavat Silva Fernandesin tutkimukseen, jossa havaittiin, että kulman suuruus *Acer pseudoplatanuksen* lehden alapinnalla oli keskimäärin  $155^\circ$ , mutta yläpinnalla vain  $44^\circ$ . Jos kontaktikulma on pienempi kuin  $90^\circ$ , ei veden hylkimistä sanottavasti tapahdu.

Fysikaalisten ominaisuuksien ohella kutikulan kemiallinen koostumus vaikuttaa aineiden tunkeutumiseen. Eri aineosista kutiini kuvataan rakenteeltaan verkkomaiseksi pitkäketjuisten rasvahappojen ja alkoholien polymeroitumistuotteeksi (FOY 1964). FOY päätelee, että kutiinin täytyy olla vain osittain esteröitynyt, joten pinnassa on vapaita karboksyyliyhymiä. Siten kutiinilla on sekä lipo- että hydrofiilisiä ominaisuuksia.

Kutikulan vahojen kemiallinen koostumus on monimutkainen. MARTIN ja JUNIPER (1970) mainitsevat vahojen aineosista mm. pitkäketjuiset hiilivedyt, rasva- ja hydroksihapot. Alkoholit ja rasvahapot voivat esiintyä joko vapaina tai myös pitkäketjuisina estereinä. Myös erilaisia syklisiä yhdisteitä esiintyy vahoissa. Kaiken kaikkiaan vahat ovat voimakkaasti hydrofobisia (vettähylkiviä), joten ne estävät tehokkaasti vesiliukoisten aineiden tunkeutumista kasviin (FOY 1964, MARTIN ja JUNIPER 1970). Esimerkkinä vahojen merkityksestä voidaan mainita

SHARMA ja VAN DEN BORNin (1970) havainto, että vahojen osittainen poistaminen lisäsi eräissä tapauksissa 2,4-D:n ja pikloramin tunkeutumisen kasvin lehteen jopa nelinkertaiseksi.

Selvää on, että kutikulan sekä kemialliset että fysikaaliset ominaisuudet riippuvat kasvilajista (CRAFTS ja FOY 1962, CLOR ym. 1964 LINSKENS ym. 1965). Kasvilajin puitteissa taas esimerkiksi lehden ikä vaikuttaa asiaan. SARGENT (1965) sanoo kutikulan rakennetta paremminkin dynaamiseksi kuin staattiseksi. Kutikulan paksuuden väitetään yleensä lisääntyvän kasvin vanhetessa (CRAFTS 1953b, VAN OVERBEEK 1956, WILKINSON 1966). Ei kuitenkaan olla varmoja, missä määrin keton paksuus sinänsä vaikuttaa aineiden tunkeutumiseen (CRAFTS ja FOY 1962, MARTIN ja JUNIPER 1970). Tärkeämpi tekijä lienee vahojen suhteellinen osuus, jonka eräät tutkijat väittävät lisääntyvän kasvin iän mukana (SKOSS 1955, CRAFTS ja FOY 1962, SZABO 1963, LINSKENS ym. 1965). Toisaalta lehden vanhetessa sen pinta voi kärsiä mekaanisia vaurioita, jotka osaltaan helpottavat aineiden tunkeutumista (CRAFTS ja FOY 1962).

Paljon on tutkittu, millä tavalla kutikulan paksuus ja vahapitoisuus korreloivat erilaisten ympäristötekijöiden kanssa. Tulokset ovat kuitenkin olleet varsin ristiriitaisia.

Korkean *valointensiteetin* mainitaan vaikuttavan kutikulan paksuutta (CRAFTS ja FOY 1962, MARTIN ja JUNIPER 1970) ja vahapitoisuutta (SKOSS 1955, BENGTSSON 1961) lisäävästi. HULL (1958) olettaa tutkittuaan *Prosopis julifloran* kutikulan kehitystä kasvihuoneessa ja ulkona, että kutikulan heikko kehittyminen kasvihuonekasveilla johtuu lasin ultraviolettisäteilyä absorboivasta vaikutuksesta. Sama tutkija on myös seurannut erilaisen *lämpötilan* vaikutusta lehtien vahapitoisuuteen ja todennut vahojen osuuden lehtien kuivapainosta laskettuna olleen suurin silloin, kun kasvi oli kasvanut korkeassa lämpötilassa. Hän olettaa korkean lämpötilan kiihdyttävän vahan esiasteiden muodostumista. Toisaalta lämpötilan nousun uskotaan edistävän aineiden tunkeutumista kasvisolukkuon, koska se aiheuttaa järjestyneiden rasvamolekyylien tilajärjestyksen häiriintymistä solukalvoissa (VAN OVERBEEK 1956). SHARMA ja VAN DEN BORN (1970) totesivat kokeissaan, että lämpötilan kohoaminen + 10°C:sta 25.5 tai 40.5°C:een tehosti voimakkaas-

ti 2,4-D:n ja pikloramin tunkeutumista haavan lehteen. He olettavat tämän johtuvan pääasiallisesti fysikaalisista muutoksista kutikulassa, mutta mahdollisesti myös lämpötilan vaikutuksesta johonkin aineenvaihdunnan säätelyprosessiin.

*Ilman kosteuden* merkitystä pidetään tärkeänä. Eräät tutkijat väittävät kutikulan jäävän ohuemmaksi kasvin kasvaessa kosteassa ympäristössä (HULL 1956, CRAFTS ja FOY 1962). Enemmän merkitystä saattaa kuitenkin olla olettamuksella, että kutikulan turpoaminen runsaan kosteuden seurauksena saa aikaan vesiliukoisten aineiden helpomman tunkeutumisen kasviin (VAN OVERBEEK 1956, BENGTSSON 1961, CRAFTS ja FOY 1964, MARTIN ja JUNIPER 1970). Ilmiö selitetään siten, että kutiini osaksi polaaristen ominaisuuksiensa ansiosta imee itseensä vettä, jolloin se turvotessaan työntää vaha-aineksia etäämmälle toisistaan päästäten vesiliukoiset aineet vapaasti kulkemaan näiden välistä (FOY 1964). Ilman kosteudella on toinenkin merkitys herbisidin kasviin tunkeutumisen kannalta. Kosteuden ollessa suuri neste-pisara säilyy kasvin lehdellä kauemmin, jolloin aineen imeytyminen lehteen voi jatkua pidempään (EBELING 1963, SHARMA ja VAN DEN BORN 1970). BASLER ym. (1970) kuitenkin väittävät, että ilman kosteuden vaikutus herbisidin tehoon ei niinkään johdu sen vaikutuksesta aineen tunkeutumiseen kasvin lehteen, vaan suurempi merkitys on kulkeutumisen nopeutumisella.

Kosteudella voi olla myös herbisidin tehoa heikentävä vaikutus, jos sade sattuu tarpeeksi voimakkaana ruiskutuksen jälkeen. Tällöin saattaa tapahtua herbisidin huuhtoutumista kutikulan pinnalta. BÄRRING (1965) on sitä mieltä, että 1-2 tunnin sisällä ruiskutuksesta sattunut sade alentaa herbisidin tehoa. FRYER ja MAKEPEACE (1970) puolestaan sanovat, että ruiskutusta ei pitäisi suorittaa, jos sade on odotettavissa 6 tunnin sisällä. Yleisesti ottaen riippuu tietenkin herbisidin tunkeutumisnopeudesta, millainen aika on tarpeen.

Ilman kosteuteen läheisesti liittyvä on vuorokaudenajan vaikutus herbisidiruiskutuksen tulokseen. MARTIN ja JUNIPER (1970) viittaavat Foggin kokeeseen, jossa tämä tutki kontaktikulman riippuvuutta vuorokaudenajasta. Tämän tutkimuksen perusteella pitäisi ehkä suosittelaa vesiliukoisen aineen ruiskuttamista yöaikaan, koska ilman kosteus silloin on yleensä suurimmillaan ja kontaktikulma pienimmillään.

Kasvin *ravinnepitoisuuden* merkityksestä kutikulan ominaisuuksien kannalta tiedetään kovin vähän. MARTIN ja JUNIPER (1970) huomauttavatkin, että tätä aihetta sietäisi enemmän tutkia. Ainakin yksi havainto on olemassa, johon CRAFTS ja FOY (1962) viittaavat: Richmond ja Martin ovat todenneet typen puutteen kasvissa vähentäneen kutikulan vahojen määrää.

*Happamuuden* vaikutuksesta kasvin pinnan läpäisykykyyn on olemassa useita mainintoja. Yleensä on nesteen pH:n alentamisen havaittu edistävän fenoksiherbisidin tunkeutumista kasviin (NORMAN ym. 1950, VAN OVERBEEK 1956, EBELING 1963, SARGENT 1965, BAUR ym. 1971). VELDSTRA (1953) sanoo saman koskevan myös näiden aineiden liikkumista kasvin sisemmissä osissa solukalvojen läpi. Vaikeusmekanismista eri tutkijat ovat olleet eri mieltä. NORMAN ym. (1950) uskovat alhaisen pH:n vaikutuksen perustuvan siihen, että aine tunkeutuu kasviin helpommin dissosioitumattomassa muodossa. VAN OVERBEEK (1956) sen sijaan esittää, että alhaisen pH:n vaikutus itse kasviin on tärkeämpi kuin tunkeutuvaan kemikaaliin. Hän väittää, että sekä kutikulan että solujen plasmakelmun pinnalla on vapaita happamia ryhmiä, jotka esimerkiksi pH 5:ssä ovat dissosioitumattomassa muodossa ja siten helpottavat kasvuaineionien kulkua verrattuna pH 7:än, jossa nämä hapot ovat negatiivisesti varautuneita.

Herbisidiliuoksessa tapahtuneen happamuuden muutoksen ansioksi katsoo BRADY (1970) saamansa tuloksen, kun hän tutki liuokseen lisättyjen ravinteiden, ammoniumnitraatin ja fosforihapon (0.1 %), vaikutusta 2,4,5-T:n isooktyyliesterin tunkeutumiseen. Lehtipuun taimien lisäksi hänen kokeissaan oli mukana 1-vuotisia *Pinus taeda*n taimia. Ammoniumnitraattia sisältävä liuos, jonka pH oli 4, lisäsi herbisidin tunkeutumista niin, että se nousi kokeissa olleilla lehtipuilla yli kaksinkertaiseksi ja *Pinus taeda*llakin 77 % verrattuna pelkkään herbisidikäsitteeseen.

Kun kutikulan läpäisevyyteen vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan, on vihdoin otettava huomioon myös *herbisidi* itse.

CRAFTS ja FOY (1962) sanovat eräiden herbisidien vaikuttavan kutikulan vahapitoisuutta alentavasti ja lisäävän siten vesiliukoisen herbisidin tunkeutumismahdollisuuksia. FOY (1964) mainitsee esimerkiksi trikloretikkahapolla olevan tämänlaatuisia taipumuksia. BAUR

ym. (1971) ovat havainneet tutkiessaan 2,4,5-T:n ja pikloramin tunkeutumista herbisidiliuokseen upotettuihin *Quercus virginianan* lehtiin, että piklorami todennäköisesti hyötyy 2,4,5-T:n läsnäolosta.

## 32. Herbisidivalmisteen laadun vaikutus

### 321. Esteri vai suola

Kutikulan rakenteen ja kemiallisen koostumuksen perusteella on ilmeistä, että herbisidin on oltava joksikin lipofiilinen päästäkseen kasvin pinnan läpi (esim. NORMAN ym. 1950, CRAFTS 1953a, HULL 1956). Lipofiilisuus sellaisenaan ei kuitenkaan riitä. VAN OVERBEEK (1956) päättelee, että koska kutikulan polaariset ominaisuudet lisääntyvät pinnalta syvemmälle mentäessä, voi lipofiilisen aineen matka katketa kutikulan vahakerrokseen (vrt. kuitenkin lukua 42.).

Hän suosittelee tämän perusteella raskaita estereitä, joilla on sekä lipo- että hydrofiilisiä ominaisuuksia.

Erilaisten estereiden rinnalla markkinoilla on fenoksietikkahappojen vesiliukoisia suoloja. Esteri- ja suola- (tavallisimmin trietyyli- tai trietanoliamiinisuolet) valmisteen tehoa johonkin kasvilajiin onkin tutkittu runsaasti. Lähes poikkeuksetta esteri on osoittautunut amiinisuoleta tehokkaammaksi, kun herbisidikäsitteily on tapahtunut kasvien lehtien kautta. Syyksi oletetaan juuri suolan heikko tunkeutumiskyky (esim. LEONARD 1958). Useimmissa kokeissa kysymyksessä ovat olleet puuvartistet kasvit. LEONARD (1956) totesi esterin tehonneen *Adenostoma fasciculatum*in huomattavasti amiinia paremmin, kun kumpaakin käytettiin vesi-seoksena. Vastaavan tuloksen saivat LEONARD ja CARLSON (1960) eräillä tammilajeilla, LEONARD ym. (1966) *Acer rubrum*illa ja *Fraxinus americana*lla, TSCHIRLEY ja HULL (1959) *Prosopis juliflora*lla sekä PEEVY ja BURNS (1959) erilaisilla puuvartistilla kasveilla. Näissä tutkimuksissa on kuitenkin herbisidin lisäksi käytetty pinta-aktiivisia aineita ja veden lisäksi öljyjä, jotka saattavat osaltaan sekoittaa tuloksia. BEHRENS (1957) teki kokeita puuvillakasvilla (*Gossypium*) ja totesi herbisidin amiinisuolet vesiliuoksena absorboituvan kasviin hitaasti. Myös KURTH (1963) sekä FRYER ja MAKEPEACE (1970) suosittelivat puuvartisten



kasvien hävittämiseen esterimuodossa olevaa fenoksihappoa. Esterin ja amiinisuolan tehoeroa kuvastavat viimeksimainittujen tutkijain viljakasvien kestävyysiedistä antamat tiedot. Keskimäärin viljalajit sietävät kaksinkertaisen amiinisuolamäärän esteriin verrattuna, kaura jopa nelinkertaisen. HÄGGSTRÖM (1955,1956) on verrannut estereiden ja amiinien tehoa lehtipuihin, kun käsittely on tapahtunut toisaalta lehvästöruiikutuksena, toisaalta taskutuksena. Tämän vertailun perusteella hän sanoo, että amiinisuolaa ei pitäisi ollenkaan käyttää lehvästökäsittelyyn, kun taas taskutuksessa se on selvästi esterä tehokkaampi. Tämäkin viittaisi siihen, että kysymys on näiden valmistaiden erilaisesta tunkeutumisesta kasviin. HULL (1956, 1958) on havainnut *Prosopis juliflora*-kokeissaan suolan (tässä tapauksessa Na-suola) ja esterin käyttökelpoisuuden riippuneen siitä, oliko koekasvi kasvanut kasvihuoneessa vai avomaalla. Hän totesi Na-suolan tehonneen kasvihuonekasveihin esterä paremmin, koska esterä sai aikaan paikallisia vaurioita kasvin lehdissä ja tukki siten oman kulkutiensä. Heikosti kehittyneen kutikulan vuoksi ei tunkeutumisoongelmaa tässä tapauksessa juuri esiintynyt. On myös ajateltavissa, että pensselillä tapahtunut 2,4,5-T-käsittely ehkä vaikutti osittain mekaanisesti koekasvin pinnan rakenteeseen. Hullkin suosittelee estereiden käyttöä silloin, kun kasvin kutikula on paksu.

Amiinisuolasta KLINGMAN (1961) ja KURTH (1963) huomauttavat edelleen, että sen sekoittamista ns. kovaan veteen on vältettävä, koska fenoksihapot osaksi ionisoituvat ja ionit voivat reagoida vedessä olevan kalsiumin ja magnesiumin kanssa muodostaen heikosti liukenevia suoloja. Seurauksena on, että osa herbisideistä saostuu.

### 322. Eri esterit

Esterimuodossa olevan herbisidin tunkeutumiseen kasviin vaikuttaa mm. molekyylin koko. CRAFTS (1956) on tässä mielessä verrannut fenoksihappojen kevyitä ja raskaita estereitä. Hän otaksuu, että lyhytketjuiset esterit tunkeutuvat kasvisolukkaan nopeammin kuin pitkäketjuiset, mutta aiheuttavat myös nopeasti paikallista solukon kuolemista. BUTA ja STEFFENS (1971) ovat diklorbentsoehapon estereitä tutkiessaan päätyneet samaan tulokseen. He ovat todenneet lyhytketjuisten esterien kuolettavan

vaikutuksen perustuvan niiden kykyyn tuhota solujen lipidikalvoja. Ketjun hiiliatomien lukumäärän kasvaessa seitsemään tai siitä yli solukalvojen hajoamista ei enää esiintynyt.

2,4-D:n ja 2,4,5-T:n eri estereiden käyttökelpoisuus herbisideinä riippuu myös niiden taipumuksesta kaasuuntua. Kohtalaisen haihtuviksi luokiteltuja (FRYER ja EVANS 1970) isopropyyli- ja butyyliestereitä on käytetty jonkin verran, mutta parempina pidetään esimerkiksi butoksetanoli- ja propylenglykoliestereitä, jotka kaasuuntuvat heikommin (BÄRRING 1956, 1965). LEONARD (1956) havaitsi kokeissaan kaksi viimeksi mainittua esterä teholtaan samanarvoisiksi. Näitä kahta on käytetty useimmissa 50- ja 60-luvulla tehdyissä kokeissa. Myöhempi tulokas on suurempimolekyylinen iso-oktyyliesteri, jota mm. FRYER ja EVANS (1970) suosittelivat käytettäväksi erityisen "vaarallisissa" oloissa. Käsite kuvaa tilannetta, jossa lämpötila on korkea ja jossa lähellä olevien hyötykasvien vahingoittuminen on mahdollista ilman herbisidipitoisuuden noustessa liian suureksi. Tähän ilmiöön on usein aikaisemminkin viitattu (BENGTSSON 1961, KLINGMAN 1961).

### 33. Kantaja -aineen (carrier) vaikutus

Eri tutkimustulosten perusteella tehtävää fenoksihappojen vertailua vaikeuttaa erilaisten kantaja-aineiden käyttö. Yksinkertaisinta on käyttää vettä, johon suolavalmisteet liukenevat ja esterivalmisteet emulgoituvat (CRAFTS 1953b, BENGTSSON 1961). Emulsiona ruiskutettavilla herbisideillä on vesiliukoisiin verrattuina mm. se etu, että ne ovat vähemmän arkoja huuhtoutumaan kasvin lehdiltä sateen yllättäessä (KLINGMAN 1961, FRYER ja EVANS 1970).

Joissakin kokeissa on kantaja-aineina käytetty erilaisia öljyjä, koska niiden oletetaan lipofiilisen luonteensa vuoksi imeytyvän tehokkaasti kasviin (CRAFTS 1953b, CRAFTS ja FOY 1962). Lisäksi on mainittu, että käytettäessä veden sijasta öljyä herbisidi säilyy lehden pinnalla kauemmin kiteytymättömänä ja siten imeytymiskelpoisena (LEONARD 1958).

BEHRENS (1957) käytti puuvillakasvin lehtiä käsitellessään herbisidin kantajana dieselöljyvesiseosta 1:3 varmistaakseen herbisidin tunkeutumisen. Kuitenkaan hän ei havainnut mitään merkkejä siitä, että tunkeutuminen olisi jäänyt epätäydelliseksi pelkkää vettä käytettäessä, jo-

ten öljy oli siinä mielessä turhaan mukana. Kun samassa kokeessa trietanoliamiinisuola puolestaan liuotettiin veteen, on vertailujen teko esteerin ja suolan välillä tässä tapauksessa ollut tarpeettoman mutkikasta. TSCHIRLEY ja HULL (1959) taas käyttivät öljy-vesiseosta 1:4 sekä esterin että amiinin kantajana, mutta heidän kokeessaan öljyn laatu puolestaan oli erilainen eri tapauksissa. Sama koskee LEONARDin ja CARLSONin (1960) tutkimusta, jossa öljy-vesi-sekoitussuhde oli 1:9. HULL (1956) kutsuu kokeissaan käyttämäänsä öljyä nimellä "non-toxic oil", jota hän sekoitti veteen suhteessa 1:7.

Öljyjen mukanaolo voi joskus olla jopa haitallista, koska eräät niistä aiheuttavat arkojen kasvien lehtisulokon kuolemista (LEONARD 1956, BEHRENS 1957). Tilanne on kokonaan toinen, jos kysymys on puuvartisten kasvien runkokäsittelystä. Korkkiutuneen pinnan läpi tunkeutuakseen herbisidi tarvitsee tällöin öljyn tai muun vastaavan aineen avukseen (FRYER ja EVANS 1970).

#### 34. Pinta-aktiivisten aineiden vaikutus

Nesteen pintajännityksen alentamiseksi herbisidiruiskutteissa käytetään erilaisia pinta-aktiivisia aineita, ns. kostutteita, jotka voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia (BENGTSSON 1961). Sopiva pinta-aktiivinen aine parantaa herbisidin tehoa silloin, kun nestepisaran on esimerkiksi pinnan epätasaisuuden vuoksi vaikea päästä kosketuksiin kasvin lehden kanssa (VAN OVERBEEK 1956). Usein tällainen tehostaja on lisätty kauppavalmistukseen (TSCHIRLEY ja HULL 1959, FRYER ja EVANS 1970). Toisissa tapauksissa tutkijat ovat harkintansa mukaan lisänneet herbisidiseokseen jotain tällaista ainetta. Käytetyt väkevyydet ovat usein olleet 0.5–1.0 % (esim. LEONARD ym. 1962, CROSBY 1964), mutta DAVIS ym. (1968) ovat käyttäneet jopa 2 % pinta-aktiivista ainetta tutkiessaan vapaan hapon tunkeutumista Proso-piksen ja Ulmuksen lehtiin.

Usein maininta pinta-aktiivisen aineen käytöstä esiintyy herbisiditutkimuksissa viattoman näköisenä sivuhuomautuksena, johon ei kovin paljon huomiota kiinnitetä. Kauppavalmisteen mukana seuraavassa selosteessa ei aina edes mainita, onko tällaista ainetta lisätty vai ei, ja jos onkin, laadusta ja määrästä vaetaan. Kuitenkin monet tutkijat korostavat pinta-aktiivisten ai-

neiden merkitystä, koska ne vaikuttavat paitsi herbisidiliuokseen, myös kasvin kutikulan ja solun sisäisten kalvojen ominaisuuksiin (esim. CURRIER ja DYBING 1959, CRAFTS 1964). FOY (1964) toteaa näiden aineiden toiminnan olevan siksi monimutkaista, että se on vaikea kokonaan selvittää. LEONARD (1958) on tutkinut peräti yli seitsemääkymmentä erilaista ainetta ja todennut, että ne reagoivat eri tavalla eri yhdisteiden kanssa. Lähes yhtä suuri määrä aineita (63) oli JANSENin ym. (1961) kokeissa neljänä eri väkevyytenä (0.001–1.0 %). Koekasvit olivat *Zea mays* ja *Glycine max*. Tutkijat havaitsivat lisäaineiden joko parantaneen tai joissain tapauksissa myös huonontaneen 2,4-D:n tehoa; toisissa tapauksissa ei ollut mitään vaikutusta. Eri pitoisuuksista 1.0 % antoi selvimmät tulokset.

CRAFTS (1964) luettelee koko joukon seureauuksia, mitä pinta-aktiivisten aineiden käytöstä voi olla, jos niitä käytetään 1 %:sena tai sitä suurempana väkevyytenä. Ne voivat muuttaa esim. liuoksen sähköisiä, osmoottisia ja viskosi-teettiominaisuuksia, jolloin niillä on vaikutusta liuoksessa olevien yhdisteiden diffuusioon, liukoisuuteen sekä liukoisuuden ja lämpötilan välisiin suhteisiin. Ne voivat olla myös jossain määrin kasville myrkyllisiä (CURRIER ja DYBING 1959, JANSEN ym. 1961). Riippuu paljon herbisidikäsittelyn kohteena olevasta kasvilajista, onko tämä eduksi vai haitaksi. Kasvilajista riippuu myös, lisäävätkö nämä aineet herbisidin tunkeutumista kasviin vai vähentävätkö sitä lisäämällä nesteen valumista lehden pinnalta (CRAFTS 1964). Näin ollen ei ole mitään yleispätevää ratkaisua, joka takaisi kaikissa tapauksissa parhaan tuloksen. Jotkut tutkijat uskovat pinta-aktiivisten aineiden käytön vaikuttaneen koetuloksiin (esim. CRAFTS 1953b, TSCHIRLEY ja HULL 1959), vaikka tarkoitukseen oli alunperin tutkia jotain aivan muuta.

Hyvänä esimerkkinä pinta-aktiivisen aineen merkityksestä koetuloksissa kannattaa mainita COBLEn ym. (1970) tutkimus. Siinä havaittiin, että ilman lisäaineita annetusta 2,4-D:stä imeytyi kasviin yhden päivän aikana 7.2 %, mutta kun herbisidiliuokseen lisättiin 1 % Tween 80:a, vastaava imeytymismäärä oli 55.8 %. SHARMA ja VAN DEN BORN (1970) ovat eri haapalajeilla tekemissään kokeissa todenneet 1 %:n pinta-aktiivista ainetta kaksinkertaistaneen 2,4-D:n absorboitumisen. Erityisesti näin tapahtui, kun ilman kosteus oli alhainen ja käytetty herbisidi amiinisuolamuodossa.

## 4. KULKEUTUMINEN KASVISOLUKOSSA

### 41. Tutkimusmenetelmät

Aluksi on todettava, että fenoksiherbisidien kulkeutumisvaiheen erottaminen edellä käsitelystä tunkeutumisesta kasvin pinnan läpi on jonkinlaista väkivallan tekoa kokonaisuudelle, jonka näiden aineiden liikkuminen kasvissa muodostaa. Koska useat tutkijat ovat kuitenkin käsitelleet absorboitumisvaihetta erikseen (mm. MORGAN ja HALL 1963, NORRIS ja FREED 1966a, DAVIS ym. 1968, BRADY 1969, 1970, WILLS ja BASLER 1971), on tässäkin katsauksessa pyritty näin tekemään.

Vanhin menetelmä, jolla kasvuaineherbisidien kulkua on tutkittu, on biotesti. Herbisidin on oletettu kulkeutuneen sinne, missä kasvissa esiintyy morfologisia muutoksia (esim. HULL 1956). Koska HULLin käyttämällä koekasveilla lehtien käyrystymistä tapahtui runsaimmin latvaosissa, hän päätteli, että herbisidi kulkeutuu kasvissa helpommin ylös- kuin alaspäin. On kuitenkin huomautettava, että tässä päättelyssä unohdettiin kasvin luonnostaan sisältämät kasvuaineet. Mahdollistahan lienee, että kasvin latvaosissa pienempi ulkoa päin tuleva kasvuaineen lisäys riittää saamaan aikaan näkyviä vaurioita kuin tyvessä. Voidaankin sanoa, että biotesti ei ole kovin tarkka menetelmä fenoksiherbisidien kulkeutumistutkimuksissa. CROSBY (1964) toteaaakin, että jotain tietoa on biotestin avulla saatu, mutta parhaiten on näiden aineiden kulkua selvitetty radioaktiivista hiiltä apuna käyttäen. LEONARD ym. (1962) ovat verranneet biotestiä ja radioaktiivista menetelmää ja arvelevat jälkimmäisen olevan noin sata kertaa herkempi. Ylivoimaisesti eniten on tutkimuksissa käytetty fenoksiherbisidejä, joiden karboksyylin hiiliatomi on radioaktiivinen ( $C^{14}$ ). Tulokset on analysoitu joko autoradiografiaa (CRAFTS 1953 b, 1956, LEONARD ja CRAFTS 1956, LEONARD 1958, RADWAN ym. 1960, LEONARD ym. 1965, 1968) tai Geiger-mittaria käyttäen (FANG 1958, LINSKOTT ja MC CARTY 1962, NORRIS ja FREED 1966a). CRAFTS (1956) varoittaa eräistä virhemahdollisuuksista: Jos esimerkiksi tutkitaan, kulkeeko herbisidi johtojänteen nila- vai puuosassa ja tapetaan kasvi jäädyttämällä, jäädytystä seuraavan sulamisvaiheen aikana radioaktiivisuus voi kulkeutua solukkuon, jonne se ei normaalisti kulkisi. Turvalisin menetelmä on tässä mielessä jäädytyskuivaus, jossa tällaista sulamisvaihetta ei ole

(YAMAGUCHI ja CRAFTS 1958). Menetelmä onkin ylivoimaisesti eniten käytetty. Varauksettomasti ei CRAFTS hyväksy menetelmiä, jotka vaativat kasvin leikkaamista osiin ennen analysointia. Johtosolukoissa vallitsevista ali- ja ylipainesuhteista johtuen kasvia katkaistaessa voi esiintyä aineen äkillistä liikkumista, jolloin eri osista mitatut aktiivisuudet eivät aina kuvaa todellista tilannetta.

Radioaktiivisissa menetelmissä on muitakin heikkouksia. Radiogrammi kuvastaa (jos edellä mainitut virhemahdollisuudet eliminoidaan) aineen suhteellista jakautumista kasvin eri osien kesken, mutta kvantitatiivisia tuloksia siitä ei saada. Geigermittaus antaa kvantitatiivisiakin arvoja, mutta kuten NORRIS ja FREED (1966a) omista tuloksistaan huomauttavat, sekään ei anna tietoa, missä yhdisteissä aktiivinen hiili kasvissa esiintyy. Tältä osin on kuitenkin olemassa parannettu menetelmä eli tarkistukset paperikromatografiaa käyttäen, joita LEONARD ym. (1962) suosittelevat. Esimerkiksi FANG (1958), LINSKOTT ja MC CARTY (1962), SLIFE ym. (1962), FITES ym. (1964), LEONARD ym. 1966 ja BASLER ym. (1970) ovatkin yhdistäneet radioaktiivisilla fenoksi-etikkahapoilla tekemiinsä tutkimuksiin kromatografisen testauksen varmistukseksi, että herbisidi on säilynyt alkuperäisessä muodossaan. Koska juuri karboksyyli on fenoksietikkahapojen helpoimmin karkaava osa, lienee tällainen testi tulosten tulkinnan kannalta oleellinen. Vaikka onkin aihetta epäillä, että esim. kasvin latvaosiin kulkeutuneessa radioaktiivisuudessa joskus on herbisidin hajoamistuotteitakin mukana, antaa tältä alalta olevien tutkimusten runsaslukuisuus aiheen edellyttää, että luotettavaakin tietoa on saatavissa.

Fenoksiherbisiditutkimuksissa viimeisimmäksi käyttöön tullut menetelmä on kaasukromatografia (HAGIN ja LINSKOTT 1965). DAVIS ym. (1968) ovat mitanneet 2,4,5-T:n määrän *Prosopis glandulosa* ja *Ulmus* alatan taimien eri osista kaasukromatografian avulla. He suhtautuvat kuitenkin kriittisesti menetelmäänsä, koska sekään ei ota huomioon tutkittavan aineen esiintymistä komplekseina kasvissa olevien yhdisteiden kanssa tai mahdollisia herbisidin hajoamistuotteita. Sitäpaitsi CRAFTSin (1956) kasvin leikkaamista koskeva huomautus kohdistuu tähänkin menetelmään. Menetelmän suureksi eduksi on kuitenkin katsottava, että

fenoksietikkahappoja voidaan tutkia alkuperäisinä ilman radioaktiivisuuden aiheuttamia hankaluuksia.

MORTON ym. (1968) vertasivat toisiinsa radioisotooppi- ja kaasukromatografiamenetelmiä. Heidän kokeissaan radioaktiivisuuden mittausta antoi 2,4,5-T:llä käsiteltyä *Prosopis julifloran* lehtiä analysoitaessa suurempia arvoja kuin kaasukromatografia. Eron he päättelivät tässä tapauksessa johtuneen käytetystä herbisidin uuttamis- ja puhdistamistavasta. He uskovat, että tulokset voivat olla vertailukelpoisia, jos menetelmät saadaan uuttamisen osalta samanlaisiksi.

Herbisidien kulkeutumistutkimukset on enimmäkseen tehty kasvihuonekasveja käyttäen. YAMAGUCHI ja CRAFTS (1958) sanovat, että näitä kokeita voidaan yhtä hyvin tehdä kenttäoloissa, jolloin oltaisiin lähempänä käytäntöä. He kuitenkin myöntävät, että sateisina tai tuulisina päivinä saatetaan herbisidikäsittelyssä joutua teknisiin vaikeuksiin.

## 42. Esteristä vapaaksi hapoksi

Kulkeutumistutkimusten yhteydessä olisi kiinnostavaa tietää, missä vaiheessa esterimuodossa olevan herbisidin hydrolysoituminen vapaaksi hapoksi tapahtuu. VELDSTRA (1953) mainitsee, että johdannaisen muuttumista alkuperäiseksi hapoksi pidetään yleensä kasvuaineena toimimisen edellytyksenä, koska aineen polaarinen kulkeutuminen on yhteydessä vapaaseen karboksyyliin. Kuitenkin hän toteaa, että siihen mennessä julkaistusta alan kirjallisuudesta ei löydy suoria todisteita. Myöhemmin HILTON ja JANSEN (1963) mainitsevat useiden tutkimustulosten viittaavan siihen, että herbisidi voi toimia vain vapaana happona.

HAY (1956) päätteli *Dichrostachys nutansilla* tekemiensä kokeiden perusteella, että 2,4,5-T:n butoksietanoliesteri muuttui kasvissa liikkusaan happomuotoon, koska kasvin varressa sijainneen käsittelykohdan yläpuolelta uutettu hapan fraktio osoittautui aktiiviseksi, mutta neutraali ei. MORRE ja ROGERS (1960) kokeilivat erilaisia kasviuutteita todetakseen, oliko niissä esterien hydrolyysia kiihdyttäviä entsyymejä. Tulos oli eräiltä osin myönteinen, mutta tämä ei sinänsä osoita, missä vaiheessa hydrolyysi tapahtuu. Käyttäessään indikaattorina pavun epikotyylin käyrystymistä samat tutkijat havaitsivat, että esterikäsittelyn jälkeinen käyris-

tyminen alkoi vähän myöhemmin happokäsittelyn jälkeiseen verrattuna. Viivästyminen mahdolliseksi syyksi he arvelevat aineen kulkeutumista edeltävään hydrolyysiin kuluneen ajan, koska esterin olisi pitänyt kaiken järjen mukaan tunkeutua kasvin pinnan läpi happoa nopeammin. Tutkijat kuitenkin myöntävät, että asiasta vakuuttumiseksi tarvittaisiin enemmän suoria todisteita.

CRAFTS (1960) käytti koekasvinaan ohraa. Hän imeytti sen lehteen 2,4-D:n isopropyyliesteriä, joka sisälsi radioaktiivisen hiilen sekä karboksyyllissä että alkoholiketjussa. Kahden päivän kuluttua käsittelystä voitiin havaita, että alkoholiosaa oli jäänyt lehteen, kun taas happo-osa oli kulkeutunut tyveen päin yhtä hyvin kuin käsittelyn tapahtuessa alunperin vapaata happoa käyttäen. Crafts katsoo tämän tuloksen perusteella kyseenalaiseksi teorian, jonka mukaan lyhytketjuinen esteri jää lipidiliukoisuutensa vuoksi kutikulaan ja herbisidin kulkeutuminen siitä syystä estyy. Tätä mielipidettä tukevat LEONARDin ym. (1966) *Acer rubrumilla* ja *Fraxinus americanalla* saamat tulokset. He käyttivät kokeessaan 2,4,5-T:n butoksietanoliesteriä. Suhteellisen pitkän ajan (7 ja 30 päivän) kuluttua käsittelystä tekemistään kromatogrammeista he havaitsivat, että suurin osa herbisidistä käsittelykohdan läheisyydessä esiintyi vapaana hapon ( $R_f = 0.42$ ) mieluummin kuin esterinä ( $R_f = 0.90$ ). Myös MORTON ym. (1968) oletavat tekemiensä havaintojen perusteella, että 2,4,5-T:n butoksietanoliesteri hydrolysoituu joko jo lehden pinnalla tai viimeistään sen sisällä.

SZABO (1963) tarkoituksena oli selvittää, tapahtuiko butoksietanoli- ja propylenglykoliestereiden hydrolysoitumista pavun lehden pinnalla. Hän tuli tältä osin kielteiseen tulokseen. Tutkittuaan kasveja 24 tunnin kuluttua käsittelystä hän totesi, että merkittävästi enemmän esteriä kuin happoa esiintyi sekä käsitellyissä lehdissä että muissa kasvin osissa. Tämän hän päätteli voivan johtua joko esterin hitaasta hydrolysoitumisesta tai vaihtoehtoisesti hapon esteriä nopeammasta metaboloitumisesta. SZABO tutki myös esteriden hydrolysoitumista in vitro papukasvista valmistamaansa homogenaattia käyttäen. Tämänkin kokeen perusteella hän esittää, että hydrolyysi ei ole kovin runsasta, joskin sitä todennäköisesti jossain määrin tapahtuu.

NORRIS ja FREED (1966a) pohtivat teoreettisesti esterien hydrolysoitumisen osuutta fenoksiherbisidien kulkeutumiseen. He päätte-

livät, että hydrolyysi voi tapahtua vasta, kun esterit on jo päässyt lipidifaasista vesifaasiin (eli kutikulasta edelleen). Jos Craftsin teoria aineen liikkumisesta vapaana haponä pitäisi paikkansa, olisi kasvin juuristoon kulkeutumisessa vain se osa herbisidiä, joka on hydrolysoitunut. Edellämäin mainitut tutkijat eivät epäile teoriaa sinänsä, mutta uskovat, että heidän omassa tutkimuksessaan herbisidin kulkeutuminen eri tapauksissa oli pääasiassa riippuvainen erilaisesta imeytymisestä kasviin.

#### 43. Missä ja miten kulkeutuminen tapahtuu

Tutkijat näyttävät olevan yksimielisiä siitä, että fenoksiherbisidien kaukokuljetus tapahtuu kasvin johtosolukon nilaosassa yhteyttämistuotteiden mukana (CRAFTS 1964). Eräs ongelma on, miten ne pääsevät kutikulasta johtosolukoon. CRAFTS (1953b) ja VAN OVERBEEK (1956) viittaavat Dayn pavulla tekemiin tutkimuksiin, joissa herbisidin kulkeutuminen keskimääräiseksi nopeudeksi kutikulan ja nilan välillä mitattiin 30 mikronia tunnissa. Sitävastoin johtosolukoon päästyään aine saattoi saavuttaa jopa sadan senttimetrin tuntinopeuden lämpötilasta riippuen. Kulkeutumisesta lehden mesofyllin läpi ei ole juuri muuta tietoa kuin otaksuma, että se tapahtuu solujen elävien osien kautta (esim. YAMAGUCHI ja CRAFTS 1959). LEONARD ym. (1968) esittävät teoriansa yhteyttämistuotteiden ja siten myös fenoksiherbisidien liikkumisesta mesofyllissä. He olettavat kaiken aineiden kuljetuksen soluissa ja niiden välillä tapahtuvan solulimian keskiosien kalvoston sisällä. Plasmodemien seinämien aaltomainen liike toimii pumppuna, joka saa aikaan veden ja siihen liuenneiden aineiden virtaamisen.

Ollaan fenoksiherbisidien kulkeutumismekanismista mitä mieltä tahansa, monet varsinkin puuvartisilla kasveilla tehdyt tutkimukset osoittavat, että heikko kulkeutuminen lehdistä juuristoon on ennemminkin sääntö kuin poikkeus. Syyksi tähän on usein esitetty, että liian vahvana käytetty herbisidi tai mahdollisesti mukana oleva öljy tappaa lehden mesofyllisolukkoa tai vaurioittaa nilaa estäen siten kulkeutumisensa edelleen (HULL 1956, LEONARD ja CRAFTS 1956, BEHRENS 1957, ym.). YAMAGUCHI ja CRAFTS (1959) samoin kuin LEONARD ym. (1966) sanovat, että tällaiset vauriot voivat aiheuttaa aineen joutumisen elävästä solukosta kuolleeseen ja sitä kautta putkiloihin haihtumisvirtauksen mukaan.

Kulkeutumisen estymistä on kuitenkin havaittu silloinkin, kun herbisidin väkevyys ei riitä solukon tappamiseen. LEONARD (1956) vertasi 2,4-D:n kulkeutumista eri pensaslajeilla ja havaitsi suuria lajien välisiä eroja. Parhaiten 2,4-D kulkeutui pajulajeilla ja heikoimmin *Quercus wislizeni*llä. Tutkija arveli, että 2,4-D sitoutuu nopeasti joihinkin elävien solujen ainesosiin. Samaa ovat päättelleet toisetkin, esim. LEONARD ym. (1965) *Arbutus menziesii*llä ja *Quercus douglasi*lla, samat tutkijat myöhemmin (1966) *Acer rubrum*illa ja *Fraxinus americana*lla sekä CLOR ym. (1964) kolmella *Quercus*-lajilla.

LEONARD ja CARLSON (1960) totesivat, että lehvästökäsittely 2,4-D:llä ei tehonnut *Quercus douglasi*ihin, vaikka sama aine leikkauspinnan kautta annettuna tappoi puut. Tutkijat ovat arvelleet syyksi aineen heikon kulkeutuksen. Tässä tapauksessa mikään ei kuitenkaan sulje pois myös heikon tunkeutumisen mahdollisuutta.

Joissakin tapauksissa on herbisidin kulku ollut tyydyttävä puuvartisissakin kasveissa. BEHRENS ja MORTON (1960) tekivät kokeita *Prosopis juliflora*lla käyttäen herbisidin kulkeutumisen osoittajana juurten kasvun ehkäistymistä. He totesivat, että sirkkalehtien kautta annettu herbisidi kulkeutui nopeasti juuriin, joiden kasvu oli selvästi ehkäistynyt jo kuuden tunnin kuluttua käsittelystä. Tutkijat arvelevat hyvän kulkeutumisen johtuneen alhaisesta herbisidipitoisuudesta. Koska selostettu koe tehtiin laboratoriossa pieniä sirkkalehtiä käyttäen, ei tällä tuloksella kuitenkaan liene sanottavaa merkitystä metsätalouden käytäntöä ajatellen.

CLOR ym. (1964) tekivät kokeensa kahden kuukauden ikäisillä tammen taimilla. He havaitsivat herbisidin kulkeutumisen juuriin olleen heikkoa. Sen sijaan radioaktiivisuutta tavattiin taimien latvaosista, kun taimet olivat nopeakasvuisia. Tutkijat vertasivat puuvillan ja tammen taimia toisiinsa ja arvelivat, että herbisidin parempi liikkuvuus puuvillakasvissa johtui nopeakasvuisuudesta. Tästä tutkimuksesta on kuitenkin huomautettava, ettei siinä millään tavoin varmistettu, oliko todettu radioaktiivisuus peräisin herbisidistä itsestään vai sen metaboloitumistuotteista. Myös JACKSON (1962) on havainnut *Oxalis latifolia*lla tekemissään kokeissa, että hormoniherbisidien kulku suuntautui niihin kasvin osiin, joissa kasvu oli vilkkainta. COBLE ym. (1970) ovat puolestaan todenneet, että *Ampelatus albidus*lla 2,4-D:n kulkeutu-

misnopeus oli riippuvainen enemmänkin juuriston kuin verson kasvusta.

LEONARD ja CRAFTS (1956) väittävät kenttäkokeisiinsa nojautuen, että ainavihreillä pensaslajeilla herbisidin liikkumisen suhteen edullinen käsittelyaika kestää useita kuukausia, kun taas kesävihreillä lajeilla kulkeutuminen tapahtuu kunnollisesti vain lyhyen jakson aikana. Samalla he korostavat maaperän riittävän kosteuden ja juurten kasvun merkitystä. Myös WILLS ja BASLER (1971) ovat havainneet *Ulmus* alatalla tekemissään kokeissa, että maan kosteus vaikuttaa 2,4,5-T:n kulkeutumiseen. He painottavat yleisestikin ympäristötekijäin merkitystä.

Vaikka maaperän riittävä kosteusedistäisikin herbisidin kulkeutumista kasvin juuristoon, sillä voi kokonaistuloksen kannalta olla päinvastainen vaikutus. MUZIK (1970) nimittäin sanoo, että käytettävissä olevasta vesimäärästä riippuu paljon, miten kasvi suhtautuu herbisidin mahdollisesti aiheuttamaan vioitukseen juuristossa. Jos kosteutta on riittävästi, kasvi voi juuristonsa heikentymisestä huolimatta selviytyä.

Kuten puuvartisilla myös ruoho- ja heinäkasveilla tehdyissä kokeissa on havaittu, että fenoksihapot voivat kulkeutumisreitinsä varrella muodostaa komplekseja joidenkin kasvilla

olevien aineiden kanssa (esim. FANG ja BUTTS 1954). FANG (1958) risti erään tällaisen kompleksin ”unknown 3”-ksi ja arveli, että sen syntyminen tomaatin lehdessä saattoi hidastaa herbisidin kulkeutumista edelleen.

Pavulla tehdyissä kokeissa kulkeutuminen on ollut melko hyvää (CRAFTS 1953b, 1956, LEONARD 1958), samoin ohralla herbisidipitoisuuden ollessa alhaisen (CRAFTS 1960). ASHTON (1959) havaitsi pavulla tekemissään tutkimuksissa, että voimakas valo ja korkea lämpötila edistivät 2,4-D:n kulkeutumista, samoin 2 vrk ennen 2,4-D-käsittelyä tapahtunut gibberelliinihappokäsittely. Viimeksimainitun tuloksen tutkija arvelee olevan yhteydessä kasvin nopeakasvuisuuteen.

Tiivistäen voidaan todeta, että fenoksiherbisidin kulkeutuminen riippuu kasvilajista, kasvin kehitysvaiheesta, monesta ulkoisesta tekijästä sekä lisäksi herbisidin laadusta ja väkevyydestä. Käytännön kannalta kiinnostavimmalta tuntuu edellä mainituissa tutkimustuloksissa se piirre, että puuvartisilla kasveilla herbisidin kulkeutuminen on ollut keskimäärin heikompaa kuin ruohovartisilla. Koska aineen eteneminen on useimmiten pysähtynyt lehteen, tulee ajatteleeksi, olisiko jokin muu menetelmä lehtien kautta tapahtuvaa käsittelyä varmempi.

## 5. HAJOAMINEN JA SITOUTUMINEN MUIHIN AINEISIIN

CASIDA ja LYKKEN (1969) sanovat, että 2,4-D:n hajoamista on tutkittu enemmän kuin minkään muun herbisidin, eikä kuitenkaan ole päästy yksimielisyyteen, missä määrin, millä nopeudella ja millä tavoin sen hajoaminen kasvissa tapahtuu. Sivuketjun lohkeaminen tai muuttuminen, bentseenirenkaan hydroksyloituminen ja aukeaminen sekä kompleksien muodostuminen solun sisällä olevien aineiden kanssa mainitaan eräinä mekanismeina. HILTON ja JANSEN (1963) ovat kirjallisuuskatsauksensa perusteella sitä mieltä, että bentseenirenkaan hydroksyloitumisella tuskin on suurta merkitystä (myös FLEEKER ja STEEN (1971). FRYER ja EVANS (1970) esittävät kaavion 2,4-D:n hajoamisesta mikro-organismeissa. Siitä voi saada jonkinlaista vihjetä, mikä kohta molekyyli-<sup>14</sup>C<sub>2</sub> on alttein hajoamiselle. Radioaktiivista <sup>14</sup>C<sub>2</sub> käyttäen on todettu, että pääosa <sup>14</sup>C<sub>2</sub>:na

poistuvasta aktiivisesta hiilestä on peräisin karboksyyli-ryhmästä, tähän verrattuna 1/3 metyleeniryhmästä ja vain hyvin vähän on peräisin bentseenirenkaasta.

De-karboksylaatiota on selvitelty eri kasvilajeilla vaihtelevin tuloksin. BASLER (1964) tutki CO<sub>2</sub>:n erittymistä eräillä tammilajeilla. Hän käytti kokeessaan irrotettuja lehtiä, joille radioaktiivinen herbisidi annettiin ruodin kautta. Radioaktiivisuuden häviäminen lehdistä <sup>14</sup>C<sub>2</sub>:na oli neljän tunnin aikana hyvin vähäistä. Menetelmä ei kuitenkaan anna kuvaa herbisidin hajoamisesta, koska aktiivinen hiili on saattanut joutua muihin yhdisteisiin kasvilla. Esimerkiksi FREED ja MONTGOMERY (1963) sanovat, että kaikki dekarboksylaation tuloksena syntyvä CO<sub>2</sub> ei vapaudu vaan liittyy muihin yhdisteisiin. CRAFTS (1953a) mainitsee Weintraubin osoittaneen, että muutaman päivän kuluttua kasvin

silmujen käsittelemisestä 2,4-D:llä sivuketjun molemmat hiiliatomit olivat joutuneet mitä erilaisimpiin yhdisteisiin - happoihin, sokereihin, tärkkelykseen, pektiineihin, valkuaisaineisiin ja solunseinän eri aineksiin. Hän on sitä mieltä, että joissain kokeissa nuorista kasvavista lehdistä todettu radioaktiivisuus on voinut esiintyä muussa kuin herbisidimuodossa. Tähän seikkaan ovat myös RADWAN ym. (1960) kiinnittäneet huomiota. He kuitenkin viittaavat JAWORSKIn ja BUTTSin tutkimukseen, jossa todettiin 90% herbisidistä olevan sellaisenaan jäljellä pavun solukossa 24 tunnin kuluttua käsittelystä. Näin ollen he luottavat siihen, että heidän omista kokeistaan ei 6 tunnin aikana ole ehtinyt tapahtua herbisidin hajoamista. FITES ym. (1969) ovat kuitenkin päätyneet toisiin tuloksiin kuin JAWORSKI ja BUTTS. He ovat todenneet 2,4-D:n saavuttaneen maksimiväkevyytensä soijapavun hypokotyyli-solukossa 2–5 tunnin kuluttua käsittelystä ja metaboloituneen jonkin verran jo 24 tunnissa. SLIFE ym. (1962) havaitsivat, että *Sicyos angulatus* ja *Cucumis sativus* kokonaista 75 % kasviin absorboituneesta 2,4-D:stä muuttui 24 tunnin aikana toiseksi aineiksi. Sitä vastoin 2,4,5-T:n muuttuminen myrkyttömäksi tällä tavoin jäi huomattavasti heikommaksi vielä kahdeksankin päivän kuluttua.

DAVIS ym. (1968) päättelivät epäsuorasti, että *Prosopis glandulosa* ja *Ulmus alatan* käsittelemättömissä solukoissa ei tapahtunut 2,4,5-T:n hajoamista, koska aineen väkevyys joko säilyi muuttumattomana tai lisääntyi lievästi 1–4 päivän aikana. He arvelivat, että hajoamisnopeus oli ainakin pienempi kuin liikkumisnopeus käsitellyistä solukoista käsittelemättömiin.

LINSCOTT ja MC CARTY (1962) tutkivat 2,4-D:n vaiheita *Vernonia baldwini*lla sekä kasvihuoneessa että kentällä. Huomattava määrä herbisidiä muuttui yhden vuorokauden aikana

joiksikin alkoholiin liukenemattomaksi yhdisteiksi. Myös alkoholiuutteessa esiintyi radioaktiivisuutta, joka ei ollut enää alkuperäisessä herbisidimuodossa. Muuttuminen oli nopeampaa kasvihuoneeseen siirrettyissä kuin ulkona kasveissa kasveissa, mikä on syytä muistaa, kun kasvihuonekokeiden tuloksia soveltaa käytäntöön (myös MUZIK 1965).

NORRIS ja FREED (1966a) totesivat, että 2,4-D:n ja 2,4,5-T:n hajoaminen ja muuttuminen muiksi yhdisteiksi tapahtui eri nopeudella *Acer macrophyllum*in taimen eri osissa. Herbisidit säilyivät parhaiten alkuperäisessä muodossa käsitellyissä lehdistä ja heikoimmin juuristossa. 2,4,5-T oli pysyvämpi kuin 2,4-D.  $C^{14}O_2$ :n vapautumisena mitattua dekarboksylaatiota ei tässäkään kasvissa juuri tapahtunut. Kasvisolukosta sitä vastoin löydettiin erilaisia radioaktiivisia yhdisteitä. Tutkijat sanovat tärkeimmän näistä olevan verrattavissa FANGIn (1958) ”unknown 1”-een, jota pidetään herbisidin valkuaisainekompleksina. Muidenkin kasvin sisältämien aineiden kuten sokerien (CASIDA ja LYKKEN 1969) väitetään muodostavan komplekseja fenoksiherbisidien kanssa.

CROSBYn (1964) tarkoituksena oli tutkia erityisesti 2,4-D:n aromaattisen renkaan kohtaloa, koska BELL (1956) oli väittänyt renkaan voivan hajota valokemiallisesti. Pavulla tekemisään kokeissa Crosby havaitsi, että 2,4-D oli säilynyt hyvin käsittelyä seuranneen neljän päivän aikana. Hän löysi kuitenkin pari 2,4-D:n johdannaista, joiden perusteella tarkastelee Fangin esittämän valkuaisainekompleksin merkitystä. Crosby arvelee, että jos tämä kompleksi on sen laatuinen, että se pystyy uudelleen hydrolysoitumaan aktiiviseksi fenoksihapoksi, joutuvat radioaktiivisilla herbisideillä tehdyt tutkimukset kokonaan uuteen valoon. Fang itse ei ollut onnistunut osoittamaan, oliko hänen ”unknown”-kompleksinsa fysiologisesti aktiivinen yhdiste vai herbisidin hajoamisen tulos.

## 6. VAIKUTUSMEKANISMI

Paljon tutkituille aineille on usein tyypillistä, että niiden väitetään vaikuttavan mitä erilaisimpiin elintoimintoihin solussa. Fenoksiherbisidit eivät ole poikkeus tässä suhteessa. Jo NORMAN ym. (1950) luettelevat kirjal-

lisuudesta poimimiensa tietojen perusteella seuraavia 2,4-D:n vaikutuksia: fotosynteesiin, kasvien vesitalouteen ja ilmarakojen käyttäytymiseen, ravinteiden imeytymiseen ja keräytymiseen sekä respiraatioon. Edelleen he mainit-

sevat hiilihyaattiaineenvaihdunnan muuttuvan siten, että sokerit lisääntyvät, kun taas tärkkelys ja dekstriinit vähenevät. TEMPLEMAN ja HALLIDAY (1951) puolestaan luettelevat, mihin kaikkiin entsyymeihin 2,4-D:n on havaittu vaikuttavan. Pari vuotta myöhemmin (1953a) CRAFTS mainitsee, että entsyymitutkimuksissa saadut tulokset ovat olleet risti-riitaisia (myös HILTON ja JANSEN 1963) – niissä on ilmennyt riippuvuutta mm. tutkitavan solukon sijainnista kasvissa ja tutkimusmenetelmästä. Solun ulkopuolella puhdistettuja entsyymejä käyttäen tehdyt tutkimukset ovat johtaneet pääasiassa kielteisiin tuloksiin. Entsyymikysymyksiin on kuitenkin myöhemmin jouduttu paljonkin syventymään mm. valkuaisainesynteesiä koskevien tutkimusten yhteydessä (ROBERTSON ja KIRKWOOD 1970, LEFFLER ym. 1971).

FRANK ja GRIGSBY (1957) tutkivat 2,4-D:n ja 2,4,5-T:n vaikutusta nitraatin kerääntymiseen eri rikkakasveissa, koska tällaista oli aikaisemmin väitetty tapahtuvan herbisidikäsitelyn seurauksena. Tutkijat arvelivat, että jokin kasvin typpitalouteen vaikuttava tekijä voisi muuttaa herbisidin ansiosta ja siten vaikuttaa epäsuorasti. Kokeiden tulos ei kuitenkaan saanut tutkijoita vakuuttuneiksi hypoteesin paikansapitävyydestä. He totesivat koekasvien nitraattipitoisuuden päivittäisten vaihteluiden olleen merkityksellisempiä kuin käsittelyjen välisten.

Ei ole mitään syytä leimata epäluotettaviksi tietoja fenoksiherbisidien vaikutuksesta kasvien aineenvaihdunnan eri tapahtumasarjoihin. Sitä vastoin kannattaa kysyä, mihin ne osallistuvat suoraan ja mihin vain välillisesti. MORELAND ja HILL (1962) ovat tutkineet eristettyjä kloroplasteja käyttäen, onnistuvatko 2,4-D ja 2,4,5-T estämään ns. Hillin reaktiota. Tulostensa perusteella he uskovat, että näillä herbisideillä on suoranaainen vaikutus fotosynteesiin, mutta lisäävät, että reaktiokykyisiä kohtia kloroplastissa ei ole yksilöity. Tutkijat olettavat, että herbisidi kiinnittyy johonkin viherhiukkasen aktiiviseen kohtaan ns. multipoint-systeemillä mahdollisesti muodostaen vetysiltoja. 2,4,5-T oli Hillin reaktion estäjänä selvästi tehokkaampi kuin 2,4-D.

Myöhempien tutkimusten perusteella on useimmiten päätelty, että ensisijaisena syynä kasvin elintoimintojen muutoksiin olisi epänormaali kasvu, josta jäljet johtavat taaksepäin epänormaaliin nukleiinihappo- ja valkuaisainesynteesiin. Tähän tulokseen päätyvät esimerkiksi

ROBERTSON ja KIRKWOOD (1970), joiden laatima katsaus fenoksihappoja koskeviin tutkimustuloksiin on eräs perusteellisimmista ja monipuolisimmista tämän alan selvityksistä.

VAN OVERBEEK (1964) on verrannut 2,4-D:tä indolylettikahappoon ja väittää, että periaatteessa näiden ainoa ero on 2,4-D:n suurempi reaktiivisuus ja pysyvyys solukossa. Hän arvelee, että keinotekoisien kasvuaineen joutuminen soluun estää luonnollisen aukiinin määrässä esiintyvän vaihtelun, joka on välttämätöntä solujen järjestyneen kasvun ja solukon erilaistumisen kannalta. Seurauksena on, että kypsyneet solukot tulevat uudelleen jakautumiskykyisiksi, kun taas kasvusolukoissa jakautuminen estyy (myös HANSON ja SLIFE (1969). Erityisen herkkiä tässä suhteessa ovat kasvien juuristot (esim. WAIN 1958, HANSON ja SLIFE 1969, MUZIK 1970). Viime aikoina on herbisidin vaikutustavasta juuristoon kuitenkin esitetty toisenlainenkin tulkinta (COBLE ja SLIFE 1971). Sen mukaan juuristossa tapahtuu sellulaasi-entsyymien aktivoitumista, mikä saa aikaan solun seinien pehmenemisen. Myös maassa olevat patogeeniset ja saprofyttiset eliöt voivat em. tutkijain käsityksen mukaan edistää kasvien juuriston kuolemista.

CALLAHAM ja ENGEL (1965) tekivät kudos-tutkimuksia selvittääkseen fenoksiherbisidien vaikutusta nurmiröllin (*Agrostis tenuis*) juurten rakenteeseen. Jo kuuden tunnin kuluttua käsittelystä juurten kasvusolukossa ilmeni epänormaaleja piirteitä. Jotkut juuren kärjen solut olivat paisuneet moninkertaisiksi normaaliin kokoonsa verrattuina. Myös epänormaalin suuria tumia esiintyi, mikä viittaa polyploidiaan. Havainto on kiinnostava, koska endoploidialla uskotaan olevan osuutta solukkojen erilaistumisessa. BRADLEY ym. (1968) havaitsivat 2,4,5-T:n saavan aikaan endoploidiaa jopa suhteellisen kypsissä aprikoosipuun lehtien tylppysolukoissa. Epänormaalia uusien solujen muodostumista ei tässä tutkimuksessa havaittu, koska käytetyt 2,4,5-T-väkevyydet olivat alhaisia. Tutkijat arvelevat, että aineen teho perustuu normaalin kasvutapahtumien kiihdyttämiseen.

KEY ym. (1966) kuvaavat 2,4-D:n vaikutusta soijapavun sirkkataimeen. Solujen jakautuminen ja piteneminen estyi sirkkavarren kärjessä ja epikotyyllissa, kun taas sirkkavarren tyvessä esiintyi epänormaalia paisumista (solujen laajuuskasvu) ja solujen jakautumista, joka johti sivujuurten syntyy. Tutkijat mittasivat RNA:n, DNA:n ja valkuaisaineen määriä ja havaitsivat,



että 2,4-D esti nukleiinihappo- ja valkuaisynteesiä kasvin kärkisolukossa. Muissa osissa sirkkavartta RNA-synteesi sitävastoin kiihtyi, jolloin RNA/DNA-suhde aluksi suureni ja valkuais-/RNA-suhde pieneni. Erityisesti 2,4-D kiihdytti ribosomiRNA:n syntetisoitumista. Syntyneen ribosomiRNA:n emäskoostumus ja jakautuminen sokeriväkevyyssentrifugoinnissa tutkittiin ja todettiin normaaliksi. Tutkijat toteavat tulostensa olevan yhdenmukaisia sen näkemyksen kanssa, että 2,4-D:n herbisidivaikutus on yhteydessä RNA:n syntyyän ja valkuaisainesynteesiin. Näistä seurauksena on lisääntynyt solukoiden tuotanto, epäjärjestynyt kasvu ja lopulta kasvin kuolema.

FITES ym. (1969) ovat myös tutkineet 2,4-D:llä käsiteltyjen soijapavun taimien kasvua ja nukleiinihappometaboliaa. He seurasivat erityisesti käsittelyn jälkeen syntyneitä ribosomeja todetakseen, missä määrin esiintyi polysomien muodostusta, mikä on merkinä valkuaisainesynteesistä. Sirkkavarren tyvessä, missä solut saivat takaisin jakautumiskykynsä, havaittiin merkittävää polysominmuodostusta. Kärkikasvusolukossa 2,4-D näytti kiihdyttävän enemmän vapaiden ribosomien syntyä suhteessa polysomeihin 24 tunnin kuluttua käsittelystä. Seurattessaan taimien kasvua tutkijat havaitsivat, että kärkikasvusolukossakin aluksi ilmeni kasvun lisääntymistä, jonka jälkeen seurasi estymisvaihe. Tyvessä taas 2,4-D edisti kasvua koko ajan. Tutkijat arvelevat, että 2,4-D on nostanut kärkikasvusolukon kasvuainemäärän kasvua ehkäisevälle tasolle, kun taas tyvessä se on noussut lähelle optimia. Yhteenvetona havainnoistaan FITES ym. esittävät, että synteettinen kasvuaine saa aikaan tietyissä kypsissä kasvin varren soluissa DNA- ja ribosomisynteesin valloilleen pääsyn. Myös lähettiRNA-koodattuja, solunjakautumisessa tarvittavia entsyymejä syntyy, jolloin tuloksena on aktiivinen solujen tuotanto. Ennestään jo jakautuvassa solukossa kasvuaineen lisäys saa aikaan päinvastaisen vaikutuksen. Lopuksi tutkijat huomauttavat, että 2,4-D:n biokemiallinen asema mainituissa tapahtumissa jää epäselväksi.

CHEO (1971) on havainnut 2,4-D:n lisäävän erällä kasveilla tupakan mosaiikkiviruksen biosynteesiä. Koska tämä virus koostuu ainoastaan RNA:sta ja valkuaisaineesta (SWANSON ym. 1967), tämäkin tulos vahvistaa käsitystä 2,4-D:n vaikutuksesta näiden aineiden synteesiin.

KEY (1969) on pohtinut kasvuaineen vaikutusta nukleiinihappometaboliaan. Hän mai-

nitsee soijapavun leikatuilla sirkkavarsilla tehdyissä kokeissa todetun, että IAA ja 2,4-D ovat yhtä tehokkaita RNA-synteesin aiheuttajia, vaikkakin näiden yhdisteiden optimiväkevyyks on erilainen. Hän viittaa eräästä kokeesta saatuun tietoon, jonka mukaan kasvuaine yhdessä jonkin tumassa sijaitsevan tekijän ("factor") kanssa on lisännyt RNA-synteesiä herneen kromatiinissa, kun RNA-polymeraasia on tapahtunut. Key päättelee, että kasvuaineet mahdollisesti osallistuvat erikoistuneiden RNA-lajien synteesin säätelyyn. Nämä RNAt toimivat sitten ohjaavina kaa-voina valkuaisainesynteesissä, joiden seurauksena kasveissa havaitut fysiologiset muutokset ovat. Jatkoselvitysten olennaisena osana tutkija mainitsee kasvuaineen vastaanottajamolekyylin (edellä mainitun "factorin") etsimisen. Tässä yhteydessä hän viittaa Armstrongin esittämään teoriaan, jonka mukaan auksiini tarttuisi suoraan siirtäjäRNA:han. Eräissä kokeissa on kuitenkin havaittu, että RNA:sta löydetty C<sup>14</sup> onkin ollut peräisin radioaktiivisen kasvuaineen hajoamistuotteista, joten auksiinin kiinnittymistä sellaisenaan RNA:han ei ole pystytty todistamaan.

Toinen mahdollisuus on ajatella, että kasvuainemolekyylin vastaanottajana toimisi jokin valkuaisaine. Onhan jo näiden aineiden kulkeutumista tarkasteltaessa todettu, että ne voivat sitoutua valkuasaineisiin. Vaikka tällaista sitoutumista onkin yleensä käsitelty aineen myrkyllisyyden häviämismekanismina (vrt. kuitenkin CROSBY 1964), ei liene mitään järkevää syytä olettaa, että herbisidimolekyyli matkallaan kasvin juuristoon ja sinne päästyään käyttäytyisi olennaisesti eri tavalla. Herbisidin vaikutushan sitäpaitsi ilmenee kulkeutumisreitit varrella esimerkiksi epämuodostumina kasvin varressa. GRAMLICH ja FRANS (1964) arvelevat eräisiin alemmilla eliöillä tehtyihin tutkimuksiin viitaten, että osa kasvuainetta sitoutuu toisarvoisiin kohtiin, jotka eivät johda muutoksiin kasvussa. Muu osa molekyyleistä jää reagoimaan kasvun-säätelylle ominaisen mekanismin kanssa.

Epänormaaliin kasvuun johtavien tapahtumien voidaan sanoa alkavan siitä, että jokin "luvaton" geeni alkaa toimia (ROBERTSON ja KIRKWOOD 1970). Vaikka ei olekaan tarkkaan tiedossa, mikä geenin toimintaa säätelää, on kromosomeissa sijaitsevilla historivalkuaisaineilla oletettu olevan tässä suhteessa merkitystä (SWANSON ym. 1967). Tämäkin sopii yhteen sen ajatuksen kanssa, että valkuaisaine toimii herbisidimolekyylin vastaanottajana.

Fenoksiherbisidien rakenne suhteessa niiden aktiivisuuteen on jo kauan askarruttanut tutkijoita. VELDSTRA (1953) pitää tärkeänä toisaalta rengasrakennetta (hydrofobinen osa) ja toisaalta karboksyyliiryhmää (hydrofiilinen osa). Hän olettaa molekyylin toimivan jossain hydrofiilisen ja -fobisen faasin rajalla kuten juuri valkuaisainemolekyylin pinnalla. Hän sanoo yhdisteen olevan aktiivisen, jos karboksyyliiryhmä on sitoutunut joko suoraan tai lyhyemmän tai pidemmän ketjun välityksellä bentseenirenkaiseen. Tämän ketjun on oltava sellainen, ettei se aiheuta muutosta yhdisteen reaktiivisuudessa tai liukoisuusomaisuuksissa verrattuna yksinkertaiseen hiiliketjuun. Tästä syystä korvaavia hydrofiilisiä ryhmiä (muuta kuin karboksyyliiryhmiä) on vältettävä.

Veldstra samoin kuin CRAFTS (1953a) sekä MORELAND ja HILL (1962) korostavat molekyylin arvuusrakenteen merkitystä herbisidinä toimimisen kannalta. WAIN (1958) uskoo, että renkaassa pitäisi olla ainakin yksi korvaavista ryhmistä vapaa asema. Hän on esittänyt "three-point-contact" -teoriaansa, jonka mukaan tyydyttämätön rengas,  $\alpha$ -vetyatomi ja karboksyyliiryhmä tulevat kosketuksiin tiettyjen reseptorissa esiintyvien ryhmien kanssa. Tämä kosketus mahdollisesti tapahtuu juuri vetysiltojen välityksellä kuten Moreland ja Hill ovat esittäneet. Esitetyn perusteella ei pystytä varmistamaan,

onko tuo reseptori todellakin valkuaisaine, mutta tätä olettamusta ei myöskään pystytä kumoamaan, joten teoria lienee hyvinkin kehittelemisen arvoinen.

Lopuksi on kuitenkin todettava, että kasvainetyyppisten herbisidien vaikutusmekanismista voidaan toistaiseksi esittää vain olettamuksia, jotka pohjautuvat siihen, mitä soluissa luonnostaan esiintyvistä säätelymekanismeista tunnetaan. Edellä eri yhteyksissä esille tullutta herbisidin väkevyyden merkitystä (mm. FITES ym. 1969) on viimeaikaisissa tutkimuksissa erityisesti painotettu (esim. MOSTAFA ja FANG 1971). LEFFLER ym. (1971) havaitsivat kokeissaan, että 2,4-D vaikutti sekä RNA- että DNA-synteesiin, mutta edelliseen jo selvästi alhaisempana väkevyytenä kuin jälkimmäiseen. Tätä RNA- ja DNA-synteesin keskinäisiin suhteisiin liittyvää havaintoa he pitävät merkittävänä herbisidin vaikutusmekanismien selvittelyn kannalta. ROBERTSON ja KIRKWOOD (1970) puolestaan huomauttavat seikasta, johon tähän mennessä ei tutkimuksissa juuri ole puututtu: Vaikuttavat fenoksihapot sitten soluissa tapahtuvaan hengitykseen, fotosynteesiin tai valkuaisainesynteesiin, jokainen näistä prosesseista tapahtuu kalvon ympäröimissä soluelimissä. Näin ollen herbisidimolekyyli joutuu tässäkin vaiheessa tunkeutumisongelman eteen.

## 7. VALIKOIVUUS

Fenoksiherbisidien käyttö perustuu suurelta osin niiden valikoivuuteen. Voidaan pohtia, johtuuko tämä ominaisuus herbisidin erilaisesta tunkeutumisesta, erilaisesta kulkeutumisesta vai erilaisesta aktiivisuudesta eri kasveissa. Kysymykseen liittyy läheisesti 2,4-D:n ja 2,4,5-T:n keskinäinen vertailu, koska näiden valikoivuus poikkeaa toisistaan.

Useimmat tutkijat tyytyvät toteamaan, että valikoivuus riippuu samanaikaisesti useista tekijöistä (FANG ja BUTTS 1954, STEWARD ja SHANTZ 1959, ENNIS 1964, BÄRRING 1965), asettamatta näitä tekijöitä sen kummempaan järjestykseen. Toiset pitävät kuitenkin oleellisena juuri herbisidin erilaista tunkeutumista eri kasveihin (LEOPOLD ym. 1960, CRAFTS ja FOY 1962, EBELING 1963). Kenttäoloissa ja kasvi-

huoneessa toisistaan poikkeavia tuloksia on selitetty mm. tällä perusteella (HULL 1956, TSCHIRLEY ja HULL 1959). ENNIS (1964) huomauttaa, että valikoivuus vähenee, kun kasvi ottaa herbisidejä juuriston eikä lehtien kautta. Hän korostaa lehden pinnalla olevien vahojen laadun merkitystä nestepisaran lehdellä pysymiselle ja olettaa viljalajien ja niiden rikkakasvien erilaisen kestävyuden johtuvan osaksi tästä. HANSON ja SLIFE (1969) eivät kuitenkaan usko, että sen enempiä herbisidin tunkeutumista kuin hajoamisellakaan olisi merkitystä verrattaessa yksi- ja kaksisirkkaisia kasveja keskenään. He esittävät, että fenoksiherbisidien vaikutus riippuu joko aktiivista tai piilevästä solunjakautumispotentialista kasvilla. Heinäkasvien kestävyuden he arvelevat johtuvan näiden ana-

tomiasta, erityisesti jännejällen puuttumisesta (myös MUZIK 1970). KLINGMAN (1961) sanoo, että pinta-aktiivisen aineen lisäys voi hävittää herbisidin valikoivuuden tapauksissa, joissa imeytymisellä on ratkaiseva merkitys.

Näkemyksellä, että valikoivuus riippuu herbisidien erilaisesta kulkeutumisesta eri kasvien johtosolukoissa, on omat kannattajansa. SUNDARAM (1965) tutki 2,4,5-T:n kulkeutumista yhdeksällä puulajilla, joista viisi oli luokiteltu kestäviksi ja neljä aroiksi. Tulos oli erittäin johdonmukainen: aroilla lajeilla rungon kuoren kautta annettu herbisidi kulkeutui alaspäin nilaa pitkin, kun taas kestäville lajeilla aineen kulku tapahtui enimmäkseen ylöspäin haihtumisvirtauksen mukana. Kysymyksessä voi kuitenkin yhtä hyvin olla herbisidin metaboloitumistuotteiden liikkuminen, kuten tutkija itsekin huomauttaa. Myös LEONARD (1956) on tulkinnut eri puulajien välisten kestävyyserojen osittain johtuvan eroista herbisidin liikkuvuudessa kasvisolukossa. BRADY (1969) uskoo *Quercus stellatan*, *Q. nigran*, *Ilex opacan* ja *Pinus palustris* 1-vuotiailla taimilla tekemiensä kokeiden perusteella viimeksimainitun puulajin suuren kestävyuden selittyvän osaksi sillä, että koko absorboituneen 2,4,5-T:n määrästä juuristoon kulkeutunut osa oli tällä puulajilla pienin.

Usein on syytä herbisidien valikoivuuteen etsitty niiden erilaisesta hajoamisnopeudesta eri kasveissa. Melko usein on kuitenkin tässä suhteessa tultu kielteiseen tulokseen. Ehkä selvin esimerkki on MORGANin ja HALLin (1963) tutkimus, jossa he vertasivat herbisidin sivuketjun hajoamista kestäväällä (*durra*) ja aralla (puuvilla) kasvilla. Tulos oli päinvastainen kuin mitä ennakkoon odotettiin: herbisidi hajosi aran kasvin solukossa 5-10-kertaisella nopeudella verrattuna kestävään. Sitävastoin herbisidin ja solun sisäisten aineiden välisen kompleksin muodostuksen havaittiin korreloivan positiivisesti kestävyuden kanssa. Tutkijat eivät kuitenkaan ota kovin jyrkkää kielteistä kantaa aineen hajoamisnopeuden merkitykseen. Myöskään BASLER (1964) ei saanut positiivista korrelaatiota puulajin kestävyuden ja herbisidin hajoamisnopeuden välille. Kuitenkin verrattaessa toisiinsa 2,4-D:tä ja 2,4,5-T:tä hän myöntää, että edellisen suuremmalla taipumuksella dekarboksyloitua voi olla joissain tapauksissa merkitystä. Myös ENNIS (1964) arvelee, että erilainen hajoaminen voi olla syynä herbisidin valikoivuuteen, mutta että ilmiö ei ole yleispätevä. FLEEKER ja STEEN (1971) havaitsivat 2,4-D:n

hydroksyloitumista eräiden rikkakasvien solu-koissa. Hekään eivät kuitenkaan todenneet näiden kasvien välisten kestävyyserojen mitenkään riippuneen herbisidin hydroksyloitumisnopeudesta.

Yksi selvä esimerkki on olemassa siitä, että ero kasvien entsyymeissä voi olla ratkaiseva. Wain on esittänyt siitä ensimmäiset tiedot, mutta samaan asiaan ovat myöhemmin viittaneet mm. HILTON ja JANSEN (1963), MATSUNAKA (1969), MUZIK (1970) sekä FRYER ja EVANS (1970). Joillakin kasveilla on entsyymisysteemi, jonka avulla sellaisenaan tehoton 2,4-dikloorifenoksibutyriihappo muuttuu  $\beta$ -oksidiaation kautta aktiiviseksi 2,4-D:ksi, kun taas toisilta kasvilajeilta tämä systeemi puuttuu. NORRIS ja FREED (1966b) kuitenkin väittävät, että samankin kasvin eri solukot voivat reagoida tässä suhteessa eri tavalla.

Kun on kysymys 2,4-D:n ja 2,4,5-T:n vertailusta, mainitaan jokseenkin aina, että 2,4,5-T on tehokkaampi puuvartiisiin kasveihin (NORMAN ym. 1950, TEMPLEMAN ja HALLIDAY 1951, MINARIK ja NORMAN 1953, CRAFTS 1953a, HÄGGSTRÖM 1955 jne.). Ruohovartisilla kasveilla näiden yhdisteiden tehokkuusjärjestys voi vaihdella enemmän. Kuitenkin vain harva tutkija on vaivautunut pohtimaan, mikä on syynä näiden yhdisteiden erilaiseen valikoivuuteen. Jotkut uskovat, että 2,4,5-T:n suurempi teho johtuu sen vähäisemmästä alttiudesta hajoamiselle (esim. LEONARD ym. 1966, PERRY ja UPCHURCH 1968). LEONARD (1956) mainitsee, että 2,4-D:n tehon vaihtelu eri kokeissa on ollut suurempi kuin 2,4,5-T:n. BEHRENSin ja MORTONin (1960) tutkimustulos on mielenkiintoinen. He totesivat, että lehtien kautta annettuna 2,4,5-T estää *Prosopiksen* juurten kasvua tehokkaammin kuin 2,4-D, mutta annettaessa aine suoraan juuristoon tulos olikin päinvastainen. Kysymys voi olla joko erilaisesta imeytymisestä tai kulkeutumisesta. Toisaalta taas jotkut tutkijat ovat havainneet kokeissaan, että 2,4-D imeytyy kasviin helpommin kuin 2,4,5-T (esim. SLIFE ym. 1962, NORRIS ja FREED 1966a). On vaikeata arvella, mistä tämä johtuu, koska voisi luulla lipofiilisemmän 2,4,5-T:n pystyvän tunkeutumaan kasvin pinnan läpi helpommin. Syntyisikö ero mahdollisesti siinä vaiheessa, kun herbisidimolekyylit joutuu lipidifaasista vesifaasiin?

Joskus voi 2,4-D:n ja 2,4,5-T:n tehon ero riippua jopa ympäristötekijöistä. FLETCHER ja RAYMOND (1956) tutkivat näiden aineiden

vaikutusta valkopaivan (*Trifolium repens*) juuristoon. Kun kasvialustana oli maa, 2,4,5-T oli myrkyllisempi näistä kahdesta, mutta agar-alustalla tehon järjestys oli päinvastainen. ROBOCKER ja KERR (1964) koekasvinaan *Lathyrus silvestris* taas havaitsivat, että yhtenä vuonna tehdyissä kokeissa 2,4-D oli tehokkaampi, toisena vuonna vuorostaan 2,4,5-T. Tässä tapauksessa sääsuhteet lienevät vaikuttaneet järjestyksen muuttumiseen.

On kiinnostavaa, että puuvartisista kasveista mänty säännöllisesti reagoi fenoksiherbisideihin yleisestä järjestyksestä (2,4,5-T tehokkaampi kuin 2,4-D) poiketen. Esimerkiksi PEEVY ja BURNS (1959), LEONARD ja CARLSON (1960) sekä BÄRRING (1965) ilmoittivat, että

2,4-D vaurioittaa mäntyä selvästi pahemmin kuin 2,4,5-T. BÄRRING, viitaten muissa maissa tehtyihin havaintoihin, huomauttaa saman koskevan myös kuusta. Kukaan mainituista tutkijoista ei kuitenkaan pyri päättelemään, mikä on tähän syynä. Jos oletetaan, että tiedot 2,4-D:n tehokkaammasta tunkeutumisesta kasviin verrattuna 2,4,5-T:hen ovat yleispäteviä, on perusteltua päätellä, että juuri herbisidin tunkeutumiskysymys on havupuiden vioittumisen kannalta olennainen. Vielä on mainittava, että havupuiden lisäksi tunnetaan joitakin muita puuvartisia kasveja, joihin 2,4-D tehoaa 2,4,5-T:tä paremmin (TEMPLEMAN ja HALLIDAY 1951).

## 8. KIRJALLISUUTTA

- ASHTON, F.M. 1959. Effect of gibberellic acid on absorption, translocation, and degradation of 2,4-D in Red Kidney bean. *Weeds* 7: 436–441.
- BASLER, E. 1964. The decarboxylation of phenoxyacetic acid herbicides by excised leaves of woody plants. *Weeds* 12: 14–16.
- BASLER, E., SLIFE, F.W. ja LONG, J.W. 1970. Some effects of humidity on the translocation of 2,4,5-T in bean plants. *Weed Sci.* 18: 396–398.
- BAUR, J.R., BOVEY, R.W., BAKER, R.D. ja RILEY, J. 1971. Absorption and penetration of picloram and 2,4,5-T into detached Leave Oak leaves. *Weed Sci.* 19: 138–141.
- BEHRENS, R. 1957. Influence of various components on the effectiveness of 2,4,5-T sprays. *Weeds* 5: 183–196.
- BEHRENS, R. ja MORTON, H.L. 1960. Mesquite root inhibition tests to study inhibitory activity, absorption, and translocation of 2,4-D and 2,4,5-T. *Weeds* 8: 427–435.
- BELL, G.R. 1956. On the photochemical degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and structurally related compounds in the presence and absence of riboflavin. *Bot. Gaz.* 118:133–136.
- BENGTSSON, A. 1961. Droppstorlekens inflytande på ogräsmedlens verkan. *Växtodling* 17.
- BRADLEY, M.V., CRANE, J.C. ja MAREI, N. 1968. Some histological effects of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid applied to mature apricot leaves. *Bot.Gaz.* 129: 231–238.
- BRADY, H.A. 1969. Light intensity and absorption and translocation of 2,4,5-T by woody plants *Weed Sci.* 17:320–322.
- BRADY, H.A. 1970. Ammonium nitrate and phosphoric acid increase 2,4,5-T absorption by tree leaves. *Weed Sci.* 18: 204–206.
- BUTA, J.G. ja STEFFENS, G.L. 1971. Plant growth inhibition and membrane penetration by a homologous series of dichlorobenzoate esters. *Physiol.Plant.* 24: 431–435.
- BÄRRING, U. 1956. Intryck från studier av lövvegetationens behandling med kemiska preparat i Norrland. *Norrk. skogsvårdsförd.* 1956: 203–237.
- BÄRRING, U. 1965. Behandling av lövträdsvegetation med herbicider. *Studia forest. Suec.* 25.
- CALLAHAM, L.M. ja ENGEL, R.E. 1965. Tissue abnormalities induced in roots of colonial bentgrass by phenoxyalkylcarboxylic acid herbicides. *Weeds* 13: 336–338.
- CASIDA, J.E. ja LYKKEN, L. 1969. Metabolism of organic pesticide chemicals in higher plants. *Ann.Rev.Plant Physiol.* 20: 607–636.
- CHEO, P.C. 1971. Effect of plant hormones on virus-replicating capacity of cotton infected with tobacco mosaic virus. *Phytopath* 61: 869–872.
- CLOR, M.A., CRAFTS, A.S. ja YAMAGUCHI, S. 1964. Translocation of C<sup>14</sup>-labeled compounds in cotton and oaks. *Weeds* 12: 194–200.
- COBLE, H.D. ja SLIFE, F.W. 1971. Root dysfunction in Honeyvine Milkweed caused by 2,4-D. *Weed Sci.* 19: 1–3.
- COBLE, H.D., SLIFE, F.W. ja BUTLER, H.S. 1970. Absorption, metabolism, and translocation of 2,4-D by Honeyvine Milkweed. *Weed Sci.* 18: 653–656.
- CRAFTS, A.S. 1953a. Herbicides. *Ann.Rev. Plant Physiol.* 4: 235–282.
- CRAFTS, 1953b. Herbicides – their absorption and translocation. *J.Agric.Food Chem.* 1: 51–55.
- CRAFTS, A.S. 1956. Translocation of Herbicides. I. The mechanism of translocation – methods of study with C<sup>14</sup>-labeled 2,4-D. *Hilgardia* 26: 287–334.
- II. Absorption and translocation of 2,4-D by Wild Morning Glory. *Hilgardia* 26: 335–365.
- CRAFTS, A.S. 1960. Evidence for hydrolysis of esters of 2,4-D during absorption by plants. *Weeds* 8: 19–25.
- CRAFTS, A.S. 1964. Herbicide behaviour in the plants. Kirjassa: AUDUS, L.J. (toim.), *The Physiology and Biochemistry of Herbicides*: 75–110. London, New York.
- CRAFTS, A.S. ja FOY, C.L. 1962. The chemical and physical nature of plant surfaces in relation to the use of pesticides and to their residues. *Residue Rev* 1: 112–139.

- CROSBY, D.G. 1964. Metabolites of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in bean plants. *J. Agric. Food Chem.* 12: 3–6.
- CURRIER, H.B. ja DYBING, C.D. 1959. Foliar penetration of herbicides – review and present status. *Weeds* 7: 195–213.
- DAVIS, F.S., MERKLE, M.G. ja BOVEY, R.W. 1968. Effect of moisture stress on the absorption and transport of herbicides in woody plants. *Bot.Gaz.* 129: 183–189.
- EBELING, W. 1963. Analysis of the basic processes involved in the deposition, degradation, persistence, and effectiveness of pesticides. *Residue Rev.* 3: 35–163.
- ENNIS JR., W.B. 1964. Selective toxicity in herbicides. *Weed Research* 4: 93–104.
- FANG, S.C. 1958. Absorption, translocation, and metabolism of 2,4-D-1-C<sup>14</sup> in pea and tomato plants. *Weeds* 6: 179–186.
- FANG, S.C. ja BUTTS, J.S. 1954. Studies in plant metabolism. III. Absorption, translocation, and metabolism of radioactive 2,4-D in corn and wheat plants. *Plant Physiol.* 29: 56–60.
- FITES, R.C., HANSON, J.B. ja SLIFE, F.W. 1969. Alteration of messenger RNA and ribosome synthesis in soybean hypocotyl by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Bot. Gaz.* 130: 118–126.
- FITES, R.C., SLIFE, F.W. ja HANSON, J.B. 1964. Translocation and metabolism of radioactive 2,4-D in Jimson weed. *Weeds* 12: 180–183.
- FLEEKER, J. ja STEEN, R. 1971. Hydroxylation of 2,4-D in several weed species. *Weed Sci.* 19: 507–510.
- FLETCHER, W.W. ja RAYMOND, J.C. 1956. Toxicity and breakdown of "hormone" herbicides. *Nature* 178: 151–152.
- FOY, C.L. 1964. Review of herbicide penetration through plant surfaces. *J. Agric. Food Chem.* 12: 473–476.
- FRANK, P.A. ja GRIGSBY, B.H. 1957. Effects of herbicidal sprays on nitrate accumulation in certain weed species. *Weeds* 5: 206–217.
- FREED, V.H. ja MONTGOMERY, M.L. 1963. The metabolism of herbicides by plants and soils. *Residue Rev.* 3: 1–18.
- FRYER, J. ja EVANS, S.A. (ed.) 1970. *Weed Control Handbook I.*
- FRYER, J. ja MAKEPEACE, R. (ed.) 1970. *Weed Control Handbook II.* Oxford and Edinburgh.
- GRAMLICH, J.V. ja FRANS, R.E. 1964. Kinetics of *Chlorella* inhibition by herbicides. *Weeds* 12: 184–189.
- GYSIN, H. 1960. The role of chemical research in developing selective weed control practices. *Weeds* 8: 541–555.
- HAGIN, R.D. ja LINSKOTT, D.L. 1965. Determination of 4-(2,4-dichlorophenoxy)-butyric acid (2,4-DB) and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in forage plants. *J. Agric. Food Chem.* 13: 123–125.
- HANOVER, J.W. ja REICOSKY, D.A. 1971. Surface wax deposits on foliage of *Picea pungens* and other conifers. *Amer. J. Bot.* 58: 681–687.
- HANSON, J.B. ja SLIFE, F.W. 1969. Role of RNA metabolism in the action of auxin-herbicides. *Residue Rev.* 25: 59–67.
- HAY, J.R. 1956. Translocation of herbicides in Marabu. I. Translocation of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid following application to the bark or to cut-surfaces of stumps. *Weeds* 4: 218–226.
- HILTON, J.L. ja JANSEN, L.L. 1963. Mechanisms of herbicide action. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 14: 353–384.
- HULL, H.M. 1956. Studies on herbicidal absorption and translocation in Velvet Mesquite seedlings. *Weeds* 4: 22–42.
- HULL, H.M. 1958. The effect of day and night temperature on growth, foliar wax content, and cuticle development of Velvet Mesquite. *Weeds* 6: 133–142.
- HÄGGSTRÖM, B. 1955. Om hormonpreparat och deras användning. *Norrl. skogsvårdsförb. tidskr.* 1955: 240–248.
- HÄGGSTRÖM, B. 1956. Några fickningsförsök med hormonpreparat på björk. *Norrl. skogsvårdsförb. tidskr.* 1956: 239–249.
- JACKSON, D.J. 1962. The response of *Oxalis latifolia* to hormone herbicides. *Weeds* 10: 23–25.
- JANSEN, L.L., GENTNER, W.A. ja SHAW, W.C. 1961. Effects of surfactants on the herbicidal activity of several herbicides in aqueous spray systems. *Weeds* 9: 381–405.
- KEY, J.L. 1969. Hormones and nucleic acid metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20: 449–474.
- KEY, J.L., LIN, C.Y., CLIFFORD Jr., E.M. ja DENGLER, R. 1966. Relation of 2,4-D-induced growth aberrations to changes in nucleic acid metabolism in soybean seedlings. *Bot. Gaz.* 127: 87–94.

- KLINGMAN, G.C. 1961. Weed Control as a Science. New York.
- KURTH, H. 1963. Chemische unkrautbekämpfung. Jena.
- LEFFLER, H.R., O'BRIEN, T.J., GLOVER, D.V. ja CHERRY, J.H. 1971. Enhanced deoxyribonucleic acid polymerase activity of chromatin from soybean hypocotyls treated with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Plant Physiol.* 48: 43–45.
- LEONARD, O.A. 1956. Studies of factors affecting the control of Chamise (*Adenostoma fasciculatum*) with herbicides. *Weeds* 4: 241–254.
- LEONARD, O.A. 1958. Studies on the absorption and translocation of 2,4-D in bean plants. *Hilgardia* 28: 115–160.
- LEONARD, O.A. BAYER, D.E. ja GLENN, R.K. 1966. Translocation of herbicides and assimilates in Red Maple and White Ash. *Bot. Gaz.* 127: 193–201.
- LEONARD, O.A. ja CARLSON, C.E. 1960. Kill of Blue Oak and Poison Oak by aircraft spraying with phenoxy herbicides. *Weeds* 8: 625–630.
- LEONARD, O.A. ja CRAFTS, A.S. 1956. translocation of herbicides. III. Uptake and distribution of radioactive 2,4-D by brush species. *Hilgardia* 26: 366–415.
- LEONARD, O.A., DONALDSON, T.W. ja BAYER, D.E. 1968. Translocation of labeled assimilates into and out of bean leaves as affected by 2,4-D and benzyl adenine. *Bot. Gaz.* 129: 266–279.
- LEONARD, O.A. GLENN, R.K. ja BAYER, D.E. 1965. Studies on the cut-surface method. I. Translocation in Blue Oak and Madrone. *Weeds* 13: 346–351.
- LEONARD, O.A., WEAVER, R.J. ja KAY, B.L. 1962. Bioassay method for determining 2,4-D in plant tissues. *Weeds* 10: 20–22.
- LEOPOLD, A.C., VAN SCHAİK, P. ja NEAL, M. 1960. Molecular structure and herbicide absorption. *Weeds* 8: 48–54.
- LINSCOTT, D.L. ja MC CARTY, M.K. 1962. Absorption, translocation, and degradation of 2,4-D in Ironweed (*Vernonia baldwinii*). *Weeds* 10: 65–68.
- LINSKENS, H.F., HEINEN, W. ja STOFFERS, A.L. 1965. Cuticula of leaves and the residue problem. *Residue Rev.* 8: 137–178.
- MARTIN, J.T. ja JUNIPER, B.E. 1970. The Cuticles of Plants. Edingburgh.
- MATSUNAKA, S. 1969. Activation and inactivation of herbicides by higher plants. *Residue Rev.* 25: 45–57.
- MINARIK, C.E. ja NORMAN, A.G. 1953. Chemical weed control. *J. Agric. Food Chem.* 1: 42–44.
- MORELAND, D.E. ja HILL, K.L. 1962. Interference of herbicides with the Hill reaction of isolated chloroplasts. *Weeds* 10: 229–236.
- MORGAN, P.W. ja HALL, W.C. 1963. Metabolism of 2,4-D by cotton and grain sorghum. *Weeds* 11: 130–135.
- MORRE, D.J. ja ROGERS, B.J. 1960. The fate of long chain esters of 2,4-D in plants. *Weeds* 8: 436–447.
- MORTON, H.L., DAVIS, F.S. ja MERKLE, M.G. 1968. Radioisotopic and gas chromatographic methods for measuring absorption and translocation of 2,4,5-T by Mesquite. *Weed Sci.* 16: 88–91.
- MOSTAFA, I.Y. ja FANG, S.C. 1971. Effects of 2,4-D on metabolism of <sup>14</sup>C-glucose in plant tissues. *Weed Sci.* 19: 248–253.
- MUZIK, T.J. 1965. Effect of temperature on the activity and persistence of amitrole and 2,4-D. *Weed Research* 5: 207–212.
- MUZIK, T.J. 1970. *Weed Biology and Control*. USA.
- NORMAN, A.G., MINARIK, C.E. ja WEINTRAUB, R.L. 1950. Herbicides. *Ann.Rev. Plant Physiol.* 1: 141–168.
- NORRIS, L.A. ja FREED, V.H. 1966a. The absorption and translocation characteristics of several phenoxyalkylacid herbicides in Bigleaf Maple. *Weed Research* 6: 203–211.
- NORRIS, L.A. ja FREED, V.H. 1966b. The absorption, translocation, and metabolism characteristics of 4-(2,4-dichlorophenoxy)butyric acid in Bigleaf Maple. *Weed Research* 6: 283–291.
- PEEVY, F.A. ja BURNS, P.Y. 1959. Effectiveness of aerial application of herbicides for hardwood control in Louisiana. *Weeds* 7: 463–469.
- PERRY, P.W. ja UPCHURCH, R.P. 1968. Growth analysis of Red Maple and White Ash seedlings treated with eight herbicides. *Weed Sci.* 16: 32–37.
- RADWAN, M.A., STOCKING, C.R. ja CURRIER, H.B. 1960. Histoautoradiographic studies of herbicidal translocation. *Weeds* 8: 657–665.
- ROBERTSON, M.M. ja KIRKWOOD, R.C. 1970. The mode of action of foliage-applied

- translocated herbicides with particular reference to the phenoxy-acid compounds. II. The mechanism and factors influencing translocation, metabolism, and biochemical inhibition. *Weed Research* 10:94–120.
- ROBOCKER, W.C. ja KERR, H.D. 1964. Characteristics and herbicidal control of Flat Pea. *Weeds* 12: 40–42.
- SARGENT, J.A. 1965. The penetration of growth regulators into leaves. *Ann.Rev.Plant Physiol.* 16: 1–12.
- SHARMA, M.P. ja VAN DEN BORN, W.H. 1970. Foliar penetration of picloram and 2,4-D in aspen and balsam poplar. *Weed Sci.* 18: 57–63.
- SKOSS, J.D. 1955. Structure and composition of plant cuticle in relation to environmental factors and permeability. *Bot. Gaz.* 117: 55–72.
- SLIFE, F.W., KEY, J.L., YAMAGUCHI, S. ja CRAFTS, A.S. 1962. Penetration, translocation, and metabolism of 2,4-D and 2,4,5-T in wild and cultivated cucumber plants. *Weeds* 10: 29–35.
- STEWART, F.C. ja SHANTZ, E.M. 1959. The chemical regulation of growth (some substances and extracts which induce growth and morphogenesis). *Ann.Rev.Plant Physiol.* 10: 379–404.
- SUNDARAM, A. 1965. A preliminary investigation of the penetration and translocation of 2,4,5-T in some tropical trees. *Weed Research* 5: 213–225.
- SWANSON, C.P., MERZ, T. ja YOUNG, W.J. 1967. *Cytogenetics*. New York.
- SZABO, S.S. 1963. The hydrolysis of 2,4-D esters by bean and corn plants. *Weeds* 11: 292–294.
- TEMPLEMAN, W.G. ja HALLIDAY, D.J. 1951. Herbicides and selective phytotoxicity. Part II. *Ann.Rev.Plant Physiol.* 2: 210–230.
- TSCHIRLEY, F.H. ja HULL, H.M. 1959. Susceptibility of Velvet Mesquite to an amine and ester of 2,4,5-T as related to various biological and meteorological factors. *Weeds* 7: 427–435.
- VAN OVERBEEK, J. 1956. Absorption and translocation of plant regulators. *Ann.Rev. Plant Physiol.* 7: 355–372.
- VAN OVERBEEK, J. 1964. Survey of mechanisms of herbicide action. In *The Physiology and Biochemistry of herbicides* (AUDUS, L.J. ed.): 387–400.
- VELDSTRA, H. 1953. The relation of chemical structure to biological activity in growth substances. *Ann.Rev.Plant Physiol.* 4: 151–198.
- WAIN, R.L. 1958. Relation of chemical structure to activity for 2,4-D-type herbicide and plant growth regulator. R.L. Metcalf. (toim.). *Advances in Pest Control Research*. New York. Lontoo.
- WILKINSON, R.E. 1966. Seasonal development of anatomical structures of Saltcedar foliage. *Bot.Gaz.* 127: 231–234.
- WILLS, G.D. ja BASLER, E. 1971. Environmental effects on absorption and translocation of 2,4,5-T in Winged Elm. *Weed Sci.* 19: 431–434.
- YAMAGUCHI, S. ja CRAFTS, A.S. 1958. Autoradiographic method for studying absorption and translocation of herbicides using C<sup>14</sup>-labeled compounds. *Hilgardia* 28: 161–191.
- YAMAGUCHI, S. ja CRAFTS, A.S. 1959. Comparative studies with labeled herbicides on woody plants. *Hilgardia* 29: 171–204.



## 9. SUMMARY

The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature.

In the beginning, the large number of studies dealing with the subject is mentioned. Comparing the test results obtained by different scientists has proved to be difficult, due for instance to differences in the experimental conditions.

The observations made on the foliar penetration of phenoxy-herbicides and some of the factors affecting it are studied, followed

by the effect of the leaf surface, prevailing weather conditions, the type of herbicide applied (salt — esters, different esters), the carriers and surface active compounds.

An explanation for the translocation of phenoxy-herbicides in a plant is presented; where and how it takes place and which factors have an effect upon it. Finally the decomposition of phenoxy-herbicides in plants and their binding by other substances, as well as their mode of action and selectivity are examined.



- No 202 Paavo Tiihonen: Leimikon pystymittauksen tarkistaminen.  
Zur Kontrolle einer am stehenden zum Einschlag ausgezeichneten Holz durchgeführten Messung. 2,—
- No 203 Seppo Kaunisto: Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla.  
Date of direct seeding on drained peatlands. 3,—
- No 204 Pentti Hakkila & Hannu Kalaja: Oksaraaka-aineen kasaus Melroe Bobcat M-600 kuormaajalla.  
Bunching of branch raw material by Melroe Bobcat M-600 loader.
- No 205 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1971—73.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1971—73. 5,—
- No 206 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista 2 päivänä toukokuuta 1969 annetun päätöksen muuttamisesta.  
Skogsforskningsinstitutets beslut angående ändring av institutets beslut av den 2 maj 1969 om omvandlingskoefficienter och kuberingstabeller för virkesmätning. 8,—
- No 207 Kullervo Kuusela ja Allj Salovaara: Etelä-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Itä-Savon metsävarat vuonna 1973.  
Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Karjala, Pohjois-Savo, Keski-Suomi and Itä-Savo in 1973. 4,—
- No 208 Tapani Hänninen: Harvennusmetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa.  
The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. 4,—
- No 209 Heikki Nikkilä: Ratapölkkytukkien kuutiointi.  
Measurement of railwaytie-logs. 1,50
- No 210 Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset.  
By-effects of the harvesting of logging residues. 2,50.
- No 211 Paavo Tiihonen: Mäntypylväiden kuutioimismenetelmä.  
Eine Kubierungsmethode für Kiefernastholz 2,—
- No 212 Kaarlo Kinnunen, Juha Lind ja Erkki Lähde: Eri ajankohtina istutettujen männyn kennotaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa.  
Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. 3,—
- No 213 Kullervo Etholén: Kaatoajankohdan vaikutus koivun ja haavan vesomiseen taimistonhoitoaloilla Pohjois-Suomessa.  
The effect of felling time on the sprouting of *Betula pubescens* and *Populus tremula* in the seedling stands in northern Finland. 2,—
- No 214 Veijo Heiskanen ja Jorma Riikonen: Tukkien lajittelu sahaukseen kuoren päältä mitatun läpimitan perusteella.  
Sorting of logs according to the top diameter on bark. 4,—
- No 215 Pertti Harstela ja Sauli Takalo: Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta.  
Experiments on loading and transportation of branch raw material. 1,50
- No 216 Gunnar Wilhelmssen: Puutavaran käsittely. 7,—
- No 217 Pentti Rikkonen: Koivuvaneritukkien kuutiointi. 1,50.  
Calculation of the volume of birch veneer logs.
- No 218 Pentti Nisula: Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon.  
Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood. 2,50
- No 219 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1972—74.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1972—74. 6,—
- No 220 Pentti Nisula: Eräs herbisidien levityslaitte.  
An apparatus for the application of herbisides. 2,50
- 1975 No 221 Simo Penttilä ja Jouko Hämäläinen: Päiväansio ja työn tuotos urakkapalkkaisessa istutustyössä 1972.  
Daily earnings and work output in piece rate planting in Finland 1972. 4,—
- No 222 Veli-Pekka Järveläinen: Yksityismetsänomistajien metsätaloudellinen käyttäytyminen.  
Forestry behaviour of private forest owners in Finland. 20,—
- No 223 Jan Heino: Finlands stadsägda skogar betraktade speciellt ur friluftssynvinkel. 5,—
- No 224 Pentti Hakkila: Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteitten määrä.  
Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. 1,50
- No 225 Metsätalastollinen vuosikirja 1973.  
Yearbook of forest statistics 1973.
- No 226 Bo Långström: Eräiden insektisidien testaus tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae), tuhojen torjumiseksi.  
Testing of some insecticides for the control of damages caused by the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). 1,50
- No 227 Veijo Heiskanen: Kuitupuun latvaläpimitaan perustuva työmittausten menetelmä ("pölkky-menetelmä").  
A wage-payment measuring method based on pulpwood top diameter (Bolt method). 4,—

- No 228 Pentti Nisula: Liikkuva sadetuslaitteisto.  
Revolving Sprinkler. 3,—
- No 229 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Sahatukkien todellisen kiintomitan määrittämismenetelmät.  
Methods for the measurement of softwood sawlogs. 3,—
- No 230 Aulikki Kauppila ja Erkki Lähde: Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa.  
On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. 3,—
- No 231 Olli Uusvaara ja Kari Löyttyniemi: Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon.  
Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) on sawn timber quality and value. 1,50
- No 232 Seppo Ervasti ja Kullervo Kuusela: Suomen metsätase vuosina 1965—72 ja metsäteollisuuden raaka-ainenäkömät vuoteen 2000.  
Forest balance of Finland in 1965—72 and the prospects of industrial wood until 2000. 1,50
- No 233 Jouko Laasasenaho: Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta.  
Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. 2,—
- No 234 Olli Uusvaara ja Veijo Heiskanen: Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmääritys Suomessa.  
Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in Finland. 3,—
- No 235 Seppo Kaunisto: Jyrsintämuokkaus ja lannoitus männyn ja kuusen kylvön yhteydessä turvemaalla.  
Rotavation and fertilization in connection with direct seeding of Scots pine and Norway spruce on peat greenhouse experiments. 1,50
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittästä koskevia tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuu, järea kuitupuu sekä likipituinen havukuitupuu.  
Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate length. 3,—
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.  
Bunching and transportation of branch raw material. 2,—
- No 238 Mirja Ruokonen: Lehtien kautta annetun fenoksiherbisidin käyttäytyminen kasvilla.  
Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.  
The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature. 2,50
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.  
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. 1,—
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna.  
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized tress. 8,—
- No 241 Victor Ipatiev & Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa tupasvillarämeen männikössä.  
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine swamp. 1,50.
- No 242 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausmenetelmää käytettäessä.  
The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker cutting pulpwood. 2,—
- No 243 Paavo Valonen: Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä.  
The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. 4,—
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.  
Learning of grapple loading. 4,—
- No 245 Pentti Nisula: Kantoloukku.  
Stump Crusher. 3,—
- No 246 Hans G. Gustavsen ja Erkki Lipas: Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä.  
Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. 2,—