

[Top](#)

[Nederlandse versie](#)

[Engelse versie](#)

Silent Spring -I

voorpublicatie The New Yorker

16 juni 1962



Illustration by Emiliano Ponzi

Silent Spring Deel-I

Daar was ooit een stad in het hart van Amerika, waar al het leven in harmonie leek te zijn met zijn omgeving. De stad lag in het midden van een dambord van welvarende boerderijen, met velden van graan en hellingen van boomgaarden, waar witte wolken van bloei dreven boven het groene land. In de herfst zetten eik, esdoorn en berk een gloed van kleur op die vlamde en flikkerde over een achtergrond van dennen. Toen blaften vossen in de heuvels en reed herten over de velden, half verborgen in de nevel van de ochtend. Langs de wegen, laurier, viburnum en els, bleven grote varens en wilde bloemen een groot deel van het jaar in het oog van de reiziger. Zelfs in de winter waren de bermen van schoonheid, waar talloze vogels kwamen eten van de bessen en van de zaadkoppen van het gedroogde onkruid dat boven de sneeuw uitsteekt. Het platteland was in feite beroemd om de overvloed en variëteit van zijn vogelleven, en toen de stroom van migranten doorstroomde in de lente en herfst, kwamen mensen van grote afstanden om hen te observeren. Andere mensen kwamen naar visstromen, die helder en koud uit de heuvels stroomden en schaduwrijke poelen bevatten waar forel lag. Het was dus uit de dagen, vele jaren geleden, toen de eerste kolonisten hun huizen ophieven, hun putten zonken en hun schuren bouwden.

Toen, een lente, kroop een vreemde plaag over het gebied en alles begon te veranderen. Een of andere kwaadaardige betovering had zich op de gemeenschap gevestigd; mysterieuze kwalen veegden de kuddes, kippen en het vee en de schapen werden ziek en stierven. Overal was de schaduw van de dood. De boeren vertelden over veel ziekte onder hun families. In de stad raakten de artsen steeds meer in verwarring door nieuwe soorten ziektes die zich onder hun patiënten hadden voorgedaan. Er waren verschillende plotselinge en onverklaarbare sterfgevallen geweest, niet alleen onder de volwassenen, maar ook onder de kinderen, die tijdens het spelen getroffen zouden zijn en binnen een paar uur zouden sterven. En er was een vreemde stilte. De vogels bijvoorbeeld - waar waren ze naartoe? Veel mensen, verbijsterd en verontrust, spraken over hen. De voerstations in de achtertuinen waren verlaten. De weinige vogels die overal te zien waren, waren zieltogend; ze beefden hevig en konden niet vliegen. Het was een veer zonder stemmen. In de ochtenden, die ooit hadden geklopt met het ochtendkoor van robins, catbirds, duiven, vlaamse gaaien en wrens, en tientallen andere vogelstemmen, was er nu geen geluid; alleen stilte lag over de velden en bossen en moerassen. Op de boerderijen broeden de kippen, maar er kwamen geen kuikens uit. De boeren klaagden dat ze geen varkens konden fokken; de nesten waren klein en de jongen overleefden slechts enkele dagen. De appelbomen kwamen in bloei, maar geen bijen dronken tussen de bloesems, dus er was geen bestuiving en er zou geen fruit zijn. De bermen waren omzoomd met bruine en verdorde vegetatie en waren ook stil, verlaten door alle levende wezens. Zelfs de stromen waren levenloos. Vissers bezochten hen niet meer, want alle vissen waren gestorven. In de goten onder de dakrand en tussen de dakspanen van de daken waren een paar stukken wit korrelig poeder te zien; enkele weken eerder was dit poeder als sneeuw op de daken en de grasvelden, de velden en de beekjes gevallen. Geen hekserij, geen vijandelijke actie had het leven in deze getroffen wereld vernietigd. De mensen hadden het zelf gedaan.

Deze stad bestaat niet echt; Ik ken geen enkele gemeenschap die alle tegenslagen heeft meegemaakt die ik beschrijf. Toch is elk van hen daadwerkelijk ergens in de wereld gebeurd, en veel gemeenschappen hebben al een aanzienlijk aantal van hen getroffen. Een grimmig spook is bijna onopgemerkt op ons geslopen en binnenkort kan mijn denkbeeldige stad duizenden echte tegenhangers hebben. Wat brengt de stemmen van de lente tot zwijgen in talloze steden in Amerika? Ik zal probe-

ren het uit te leggen.

De geschiedenis van het leven op aarde is een geschiedenis van de interactie van levende wezens en hun omgeving. De fysieke vorm en de gewoonten van de vegetatie van de aarde en haar dierenleven zijn in overgrote mate gevormd en geleid door de omgeving. Over de hele tijdspanne van de aardse tijd is het tegenovergestelde effect, waarin het leven zijn omgeving wijzigt, relatief gering. Het is pas op het moment dat wordt voorgesteld door de twintigste eeuw dat één soort - de mens - een aanzienlijke macht heeft verworven om de aard van zijn wereld te veranderen, en het is pas in de afgelopen vijftig jaar dat deze kracht een dergelijke omvang heeft bereikt dat het brengt de hele aarde en haar leven in gevaar. De meest alarmerende van alle aanvallen van de mens op het milieu is de besmetting van de lucht, aarde, rivieren en zeeën met gevaarlijke en zelfs dodelijke materialen.

Deze vervuiling is snel bijna universeel geworden en is grotendeels onherstelbaar; de keten van kwaad die het initieert, niet alleen in de wereld die het leven moet ondersteunen, maar in levende weefsels, is grotendeels onomkeerbaar. Het is algemeen bekend dat straling de aard van de wereld, de aard van haar leven, veel heeft veranderd; strontium 90, door nucleaire explosies in de lucht vrijgelaten, komt naar de aarde in de regen of drijft neer als neerslag, lodges in de bodem, komt in het gras of maïs of tarwe die daar wordt verbouwd, de aard van zijn leven; strontium 90, door nucleaire explosies in de lucht vrijgelaten, komt naar de aarde in de regen of drijft neer als neerslag, lodges in de bodem, komt in het gras of maïs of tarwe die daar wordt verbouwd, de aard van zijn leven; strontium 90, door nucleaire explosies in de lucht vrijgelaten, komt naar de aarde in de regen of drijft neer als neerslag, lodges in de bodem, komt in het gras of maïs of tarwe die daar wordt verbouwd, en na verloop van tijd neemt hij zijn intrek in de beenderen van een mens, om daar te blijven tot zijn dood. Het is minder bekend dat veel door de mens gemaakte chemicaliën op ongeveer dezelfde manier werken als straling; ze liggen lang in de grond en gaan levende organismen binnen, en gaan van de ene naar de andere. Of ze kunnen mysterieus reizen door ondergrondse stromen, opkomende om te combineren, door de alchemie van lucht en zonlicht, in nieuwe vormen, die vegetatie doden, vee ziek maken en onbekende schade toebrengen aan degenen die drinken uit eens zuivere bronnen. Zoals Albert Schweitzer heeft gezegd: "De mens kan de duivels van zijn eigen schepping nauwelijks herkennen." Het duurde honderden miljoenen jaren om het leven te produceren dat nu op aarde leeft - eonen lang, waarin dat zich ontwikkelt en evolueert en diversifieert bereikte een staat van aanpassing aan zijn omgeving. Natuurlijk, het milieu, rigoreus vormgeven en regisseren van het leven dat het ondersteunde, bevatte vijandige elementen. Bepaalde rotsen gaven gevaarlijke straling af; zelfs in het licht van de zon, waaruit al het leven zijn energie put, waren er kortegolfstralen met kracht om te verwonden. Maar gezien de tijd - tijd niet in jaren maar in millennia - werd het leven aangepast en werd een evenwicht bereikt. Tijd was het essentiële ingrediënt. Nu, in de moderne wereld is er geen tijd. De snelheid waarmee nieuwe gevaren worden gecreëerd, weerspiegelt het onstuimige en achteloze tempo van de mens, in plaats van het opzettelijke tempo van de natuur. Straling is niet langer alleen de achtergrondstraling van rotsen, het bombardement van kosmische stralen, het ultraviolet van de zon, dat bestond voordat er enig leven op aarde was; straling is nu ook de onnatuurlijke creatie van het knoeien van de mens met het atoom. De chemicaliën waaraan het leven wordt gevraagd zich aan te passen, zijn niet langer alleen calcium en silicium en koper en de rest van de mineralen die uit de rotsen zijn gewassen en in rivieren naar de zee zijn getransporteerd; ze zijn ook de synthetische creaties van de inventieve geest van de mens, gebrouwen in zijn laboratoria en hebben geen tegenhangers in de natuur. Aanpassen aan deze chemicaliën zou tijd vergen op de schaal die van de natuur is; het zou niet alleen de jaren van het leven van een man vereisen, maar ook het leven van generaties. En zelfs dit zou zinloos zijn, want de nieuwe chemicaliën komen in een eindeloze stroom; bijna vijfhonderd jaarlijks vinden alleen al in de Verenigde Staten hun weg naar daadwerkelijk gebruik. De figuur is verbluffend en de implicaties ervan zijn niet gemakkelijk te begrijpen: Onder de nieuwe chemicaliën zijn er veel die worden gebruikt in de oorlog van de mens tegen

de natuur. In de afgelopen anderhalf decennium zijn ongeveer zeshonderd basischemicaliën gemaakt om insecten, onkruid, knaagdieren en andere organismen die in de moderne volksmond worden beschreven als "ongedierte", te doden in de vorm van sprays, stof en spuitbussen worden deze basischemicaliën te koop aangeboden onder duizenden verschillende merknamen - een zeer verbijsterende reeks gifstoffen, zelfs voor de chemicus verwarrend, die de macht hebben om elk insect, zowel het 'goede' als het 'slechte', te doden nog steeds het gezang van vogels en om het springen van vissen in de beekjes te stoppen, de bladeren met gif te bedekken en in de grond te blijven hangen.

Het kan onmogelijk blijken om zo'n spervuur van gevaarlijke gifstoffen op het aardoppervlak te leggen zonder het ongeschikt te maken voor al het leven. Inderdaad, de term "biocide" zou geschikter zijn dan "insecticide" - temeer omdat het hele proces van vergiftiging op aarde lijkt te zijn gevangen in een eindeloze spiraal. Sinds eind jaren veertig, toen DDT op grote schaal werd gebruikt, is er een escalatieproces aan de gang waarbij steeds meer giftige chemicaliën moeten worden gevonden. Dit is gebeurd omdat insecten, in een triomfantelijke rechtvaardiging van Darwins principe van het overleven van de sterkste, consequent superrassen hebben ontwikkeld die immuun zijn voor het specifieke gebruikte insecticide, en daarom moest er altijd een dodelijker worden ontwikkeld - en dan een dodelijker exemplaar. dan dat. Het is ook gebeurd dat destructieve insecten vaak een "flare-back" of heropleving ondergaan, na sproeien, in aantallen groter dan voorheen. De chemische oorlog is nooit gewonnen en al het leven is gevangen in zijn kruisvuur.

Samen met de mogelijkheid van het uitsterven van de mensheid door een nucleaire oorlog, is een centraal probleem van onze tijd de besmetting van de totale omgeving van de mens met stoffen met een ongelooflijk potentieel voor schade - stoffen die zich ophopen in de weefsels van planten en dieren, en zelfs de kiem binnendringen cellen, om het materiaal van erfelijkheid te vernietigen of te veranderen, waarvan de vorm van de toekomst afhangt. Sommige toekomstige architecten kijken uit naar een tijd waarin we het menselijke kiemplasma door ontwerp kunnen veranderen. Maar we kunnen het nu gemakkelijk veranderen door onoplettendheid, want veel chemicaliën, zoals straling, veroorzaken genmutaties. Het is ironisch om te denken dat de mens zijn eigen toekomst kan bepalen door zoiets onbeduidends als de keuze van zijn insectenspray. De resultaten zullen natuurlijk tientallen jaren of eeuwen niet zichtbaar zijn. Dit alles is op het spel gezet – waarvoor? Toekomstige historici zullen misschien versteld staan van ons verwrongen gevoel voor verhoudingen. Hoe kunnen intelligente wezens proberen te controleren een paar ongewenste soorten onkruid en insecten door een methode die de dreiging van ziekte en dood zelfs tot hun eigen soort bracht?

Het probleem waarvan de gepoogde oplossing zo'n ramp heeft veroorzaakt, is een aanvulling op onze moderne manier van leven. Lang voor de leeftijd van de mens bewoonden insecten de aarde - een groep buitengewoon gevarieerde en flexibele wezens. Sinds de komst van de mens is een klein percentage van de meer dan een half miljoen soorten insecten in conflict gekomen met het welzijn van de mens, voornamelijk op twee manieren - als concurrenten voor de voedselvoorziening en als dragers van menselijke ziekten. Ziekte-dragende insecten worden belangrijk waar mensen samen zijn, vooral wanneer de sanitaire voorzieningen slecht zijn, zoals in tijden van natuurrampen of oorlog, of in situaties van extreme armoede en ontbering. Wat insecten betreft die met de mens concurreren om voedsel, ze worden belangrijk met de intensivering van de landbouw - de toewijding van immense gebieden tot de productie van een enkel gewas. Een dergelijk systeem vormt de basis voor explosieve toename van specifieke insectenpopulaties. Landbouw met één gewas maakt geen gebruik van de principes volgens welke de natuur werkt; het is landbouw zoals een ingenieur het zou kunnen zijn. De natuur heeft een grote verscheidenheid in het landschap geïntroduceerd, maar de mens heeft een passie getoond om het te vereenvoudigen. Zo maakt hij de ingebouwde checks and balances ongedaan waardoor de natuur de verschillende soorten binnen grenzen houdt. Een belangrijke natuurlijke controle is een limiet op de hoeveelheid geschikte habitat voor elke soort. Het is

duidelijk dat een insect dat op tarwe leeft, zijn populatie tot veel hogere niveaus kan opbouwen op een boerderij die uitsluitend aan tarwe is gewijd dan op een boerderij waar tarwe wordt vermengd met gewassen waaraan het insect niet is aangepast. In al dergelijke omstandigheden is een soort van insectenbestrijding noodzakelijk en juist.

Een ander aspect van het insectenprobleem is een probleem dat moet worden gezien tegen de achtergrond van de geologische en menselijke geschiedenis - de verspreiding van duizenden verschillende soorten organismen vanuit hun thuisland naar nieuwe gebieden. Deze wereldwijde migratie is bestudeerd en grafisch beschreven door de Britse ecooloog Charles Elton in zijn recente boek 'The Ecology of Invasions by Animals and Plants'. Tijdens het Krijt, zo'n honderd miljoen jaar geleden, creëerden overstromende zeeën vele eilanden op continenten, en levende wezens bevonden zich opgesloten in wat Elton 'kolossale afzonderlijke natuurreservaten' noemt. Daar ontwikkelden ze, afgezonderd van hun soortgenoten, een groot aantal nieuwe soorten. Toen enkele landmassa's zich weer bij elkaar voelden, ongeveer vijftien miljoen jaar geleden, deze soorten begonnen zich naar nieuwe gebieden te verplaatsen - een beweging die niet alleen nog steeds aan de gang is, maar nu aanzienlijke hulp van de mens ontvangt.

De import van planten is het belangrijkste middel in de moderne verspreiding van soorten, want dieren zijn bijna altijd met de planten meegegaan - quarantaine is een relatief recente en nooit volledig effectieve innovatie. De regering van de Verenigde Staten heeft zelf ongeveer tweehonderdduizend soorten of variëteiten planten van over de hele wereld geïmporteerd. Bijna de helft van de honderdtachtig grote insectenvijanden van planten in de Verenigde Staten zijn onbedoelde invoer uit het buitenland, en de meeste van hen zijn gekomen als lifters op planten. In nieuw territorium, buiten bereik van de natuurlijke vijanden die het aantal in zijn geboorteland hebben teruggebracht, een binnendringende plant of dier kan zijn aantal enorm vergroten. Realistisch gezien lijkt het erop dat invasies van insecten, zowel die welke van nature voorkomen als die welke afhankelijk zijn van menselijke hulp, waarschijnlijk voor onbepaalde tijd zullen voortduren.

We worden volgens Dr. Elton geconfronteerd met "met de behoefte aan leven en dood niet alleen om nieuwe technologische middelen te vinden om deze plant of dat dier te onderdrukken", maar om de basiskennis van dierenpopulaties en hun relaties met hun omgeving te verwerven die zal "een gelijkmatige balans bevorderen en de explosieve kracht van uitbraken en nieuwe invasies dempen."

Veel van de benodigde kennis is nu beschikbaar, maar we gebruiken deze niet. Zijn we in een betoverde staat terechtgekomen die ons laat accepteren als onvermijdelijk dat wat inferieur of schadelijk is, alsof we de wil of het visioen hadden verloren om te eisen wat goed is? Zulk denken, in de woorden van de Amerikaanse ecooloog Paul Shepard, "idealiseert het leven met alleen zijn kop uit het water, centimeters boven de grenzen van de tolerantie van de corruptie van zijn eigen omgeving," en hij vraagt verder: "Waarom zouden we een dieet van zwakke gifstoffen tolereren, een huis in een slappe omgeving, een kring van kennissen die niet helemaal onze vijanden zijn, het geluid van motoren met net voldoende verlichting om krankzinnigheid te voorkomen? Wie wil er nu in een wereld leven die niet helemaal fataal is? ' een kring van kennissen die niet helemaal onze vijanden zijn, het geluid van motoren met net voldoende verlichting om krankzinnigheid te voorkomen? Wie wil er nu in een wereld leven die niet helemaal fataal is? ' een kring van kennissen die niet helemaal onze vijanden zijn, het geluid van motoren met net voldoende verlichting om krankzinnigheid te voorkomen? Wie wil er nu in een wereld leven die niet helemaal fataal is? '

Toch wordt zo'n wereld op ons gedrukt. Voor het eerst in de geschiedenis wordt vrijwel elke mens vanaf de geboorte tot de dood blootgesteld aan gevaarlijke chemicaliën. In de minder dan twee decennia waarin ze werden gebruikt, zijn DDT en andere synthetische pesticiden grondig verspreid

over alle uithoeken van de wereld. Ze zijn teruggewonnen uit veel van de grote riviersystemen, en zelfs uit de stromen grondwater die ongezien door de aarde stromen. Ze zijn geweest gevonden in grond waarop ze een dozijn jaar eerder werden aangebracht. Ze hebben hun intrek genomen in de lichamen van vissen, vogels, reptielen en gedomesticeerde en wilde dieren tot het punt dat het nu bijna onmogelijk is voor wetenschappers die dierexperimenten uitvoeren om proefpersonen te verkrijgen die vrij zijn van dergelijke besmetting. Ze zijn gevonden in vissen in afgelegen bergmeren, in regenwormen die zich in de grond nestelen, in de eieren van vogels en in de mens zelf. Deze chemicaliën worden nu opgeslagen in de lichamen van de overgrote meerderheid van mensen, ongeacht hun leeftijd. Ze komen voor in moedermelk, en waarschijnlijk in de weefsels van het ongeboren kind.

Dit alles is tot stand gekomen door de wonderbaarlijke groei van een industrie voor de productie van synthetische chemicaliën met insecticide eigenschappen. Deze industrie is een kind van de Tweede Wereldoorlog. Tijdens het ontwikkelen van middelen voor chemische oorlogvoering bleken sommige van de in het laboratorium gecreëerde chemicaliën dodelijk te zijn voor insecten. De ontdekking kwam niet toevallig; insecten werden op grote schaal gebruikt om chemicaliën te testen als middelen voor de dood van de mens. Omdat ze door de mens zijn gemaakt - door de ingenieuze laboratoriummanipulatie van moleculen, waarbij atomen worden vervangen of hun rangschikking worden gewijzigd - verschillen de nieuwe insecticiden sterk van de eenvoudiger vooroorlogse dingen. Deze zijn afgeleid van in de natuur voorkomende mineralen en plantaardige producten: verbindingen van arseen, koper, lood, mangaan, zink en andere mineralen; pyrethrum, van de gedroogde bloemen van chrysanten; nicotinesulfaat, van enkele familieleden van tabak; en rotenon, van peulvruchten uit Oost-Indië. Wat de nieuwe synthetische insecticiden onderscheidt, is hun enorme biologische potentie. Ze kunnen de meest vitale processen van het lichaam binnengaan en ze op sinistere en vaak dodelijke manieren veranderen.

Toch worden er elk jaar nieuwe chemicaliën aan de lijst toegevoegd en worden er nieuwe toepassingen voor bedacht. De productie van synthetische pesticiden in de Verenigde Staten steeg van 124.259.000 pond in 1947 tot 637.666.000 pond in 1960 - meer dan een vijfvoudige toename. In 1960 bedroeg de groothandelswaarde van deze producten ruim een kwart miljard dollar. Maar in de plannen en verwachtingen van de industrie is deze enorme productie slechts een begin. EEN van peulvruchten van Oost-Indië. Wat de nieuwe synthetische insecticiden onderscheidt, is hun enorme biologische potentie. Ze kunnen de meest vitale processen van het lichaam binnengaan en ze op sinistere en vaak dodelijke manieren veranderen. Toch worden er elk jaar nieuwe chemicaliën aan de lijst toegevoegd en worden er nieuwe toepassingen voor bedacht.

De productie van synthetische pesticiden in de Verenigde Staten steeg van 124.259.000 pond in 1947 tot 637.666.000 pond in 1960 - meer dan een vijfvoudige toename. In 1960 bedroeg de groothandelswaarde van deze producten ruim een kwart miljard dollar. Maar in de plannen en verwachtingen van de industrie is deze enorme productie slechts een begin. EEN van peulvruchten van Oost-Indië. Wat de nieuwe synthetische insecticiden onderscheidt, is hun enorme biologische potentie. Ze kunnen de meest vitale processen van het lichaam binnengaan en ze op sinistere en vaak dodelijke manieren veranderen. Toch worden er elk jaar nieuwe chemicaliën aan de lijst toegevoegd en worden er nieuwe toepassingen voor bedacht.

EEN Ze kunnen de meest vitale processen van het lichaam binnengaan en ze op sinistere en vaak dodelijke manieren veranderen. Toch worden er elk jaar nieuwe chemicaliën aan de lijst toegevoegd en worden er nieuwe toepassingen voor bedacht.

De productie van synthetische pesticiden in de Verenigde Staten steeg van 124.259.000 pond in 1947 tot 637.666.000 pond in 1960 - meer dan een vijfvoudige toename. In 1960 bedroeg de groothandelswaarde van deze producten ruim een kwart miljard dollar. Maar in de plannen en verwachtingen van de industrie is deze enorme productie slechts een begin.

EEN de groothandelswaarde van deze producten was ruim een kwart miljard dollar. Maar in de plannen en verwachtingen van de industrie is deze enorme productie slechts een begin.

EEN Who's Who van pesticiden is daarom van belang voor ons allemaal. Als we zo intiem met deze chemicaliën gaan leven - ze eten en drinken, ze in het merg van onze botten nemen - kunnen we maar beter iets weten over hun kracht.

The Who's Whozou zeker enkele van de pesticiden bevatten die vóór de Tweede Wereldoorlog werden gebruikt. De belangrijkste hiervan is arseen, dat nog steeds het basisingrediënt is van een verscheidenheid aan onkruid- en insectenverdelgers. Arseen is een mineraal dat veel voorkomt in associatie met de erts van verschillende metalen, en in zeer kleine hoeveelheden in vulkanen, in de zee en in bronwater. De relaties met de mens zijn gevarieerd en historisch. Omdat veel van zijn verbindingen smaakloos zijn, is het al lang voor de tijd van de Borgia's een favoriet middel voor moord. Het was ook de eerste erkende elementaire kankerverwekkende stof (of kankerverwekkende stof), die bijna twee eeuwen geleden door een Engelse arts werd geïdentificeerd in schoorsteenroet en in verband werd gebracht met kanker. Epidemieën van chronische arseenvergiftiging waarbij hele populaties gedurende lange periodes zijn betrokken, zijn geregistreerd. Arseen-besmette omgevingen hebben ook ziekte en dood veroorzaakt bij paarden, koeien, geiten, varkens, herten, vissen en bijen, maar arseensprays en -stof worden nog steeds op grote schaal toegepast. In het met arsenicum bespoten katoenland in de zuidelijke Verenigde Staten is de bijenteelt als industrie bijna uitgestorven. Boeren die langdurig arseenstof gebruiken, zijn chronisch vergiftigd; vee is vergiftigd door gewassprays of onkruidverdelgers met arseen. "Het is nauwelijks mogelijk. . . om arseen te behandelen met meer totale minachting van de algemene gezondheid dan die in ons land in de afgelopen jaren is toegepast," heeft Dr. WC Hueper van het National Cancer Institute, een autoriteit voor mili-eukanker, gezegd.

De grote meerderheid van moderne insecticiden valt in een van de twee grote groepen chemicaliën. Een groep, vertegenwoordigd door DDT, bestaat uit de gechloreerde koolwaterstoffen. De andere bestaat uit de organische fosfaten en wordt vertegenwoordigd door het redelijk bekende malathion en parathion. Ze hebben allemaal één ding gemeen: ze zijn gebouwd op basis van koolstofatomen, die ook de onmisbare bouwstenen van het leven zijn, en dus worden beide groepen geclassificeerd

als 'organisch'. Koolstof is een element waarvan de atomen een bijna oneindige capaciteit hebben voor met elkaar verenigen in ketens en ringen en verschillende andere configuraties, en om verbonden te worden met atomen van andere stoffen. Inderdaad, de ongelooflijke diversiteit van levende wezens, van bacteriën tot walvissen, is grotendeels te danken aan deze capaciteit van koolstof. Het complexe eiwitmolecuul heeft het koolstofatoom als basis, net als moleculen van vet, koolhydraten, enzymen en vitamines. Dus heb ook enorme aantallen niet-levende dingen, want koolstof is niet noodzakelijk een symbool van het leven. Sommige organische verbindingen zijn combinaties van koolstof en waterstof. De eenvoudigste hiervan is methaan, of moerasgas, dat in de natuur wordt gevormd door de bacteriële afbraak van organisch materiaal onder water. In bepaalde verhoudingen gemengd met lucht, wordt het de gevreesde brandstapel van kolenmijnen.

De structuur van methaan is in bepaalde verhoudingen gemengd met lucht, wordt het de gevreesde brandstapel van kolenmijnen. De structuur van methaan is in bepaalde verhoudingen gemengd met lucht, wordt het de gevreesde brandstapel van kolenmijnen.

De structuur van methaan is **prachtig** eenvoudig - één koolstofatoom waaraan vier waterstofatomen zijn gehecht. Chemici hebben ontdekt dat het mogelijk is om een of alle waterstofatomen los te maken en andere elementen te vervangen. Neem bijvoorbeeld drie waterstofatomen weg en vervang chlooratomen, en we hebben de verdoving chloroform. Vervang chlooratomen door alle waterstofatomen en het resultaat is tetrachloorkoolstof, de bekende reinigingsvloeistof. Deze veranderingen op het basismolecuul methaan illustreren in de eenvoudigst mogelijke bewoordingen wat een gechloreerde koolwaterstof is. Ze geven weinig aanwijzingen over de complexiteit van de chemische wereld van de koolwaterstoffen, of over de manipulaties waarmee de organische chemicus zijn oneindig gevarieerde materialen creëert. Want in plaats van het methaanmolecuul, met zijn enkele koolstofatoom, hij kan werken met koolwaterstofmoleculen bestaande uit vele koolstofatomen, gerangschikt in ringen of ketens, en met zijketens of takken, die elk aan zich kunnen houden met chemische bindingen, niet alleen waterstof- of chlooratomen, maar ook een grote verscheidenheid aan chemische groepen. Door schijnbaar kleine veranderingen wordt het hele karakter van de substantie getransformeerd.

DDT (afkorting voor dichloor-difenyl-trichloor-ethaan) werd voor het eerst gesynthetiseerd door een Duitse chemicus in 1874, maar de eigenschappen ervan als een insecticide werden pas in 1939 ontdekt. Bijna onmiddellijk daarna werd het geprezen als een middel om door insecten overgedragen ziekte en het winnen van de boerenoorlog tegen gewasvernietigers 's nachts, en te zijner tijd won de chemicus die zijn vermogen om insecten te doden had ontdekt, Paul Müller, van Zwitserland, de Nobelprijs. DDT wordt nu zo universeel gebruikt dat het in de meeste hoofden het onschadelijke aspect van het vertrouwde heeft overgenomen.

Misschien berust de mythe van de onschadelijkheid van DDT op het feit dat een van de eerste toepassingen de oorlogstijd was die vele duizenden soldaten, vluchtelingen en gevangenen afstoffen om luizen te bestrijden. Er wordt algemeen aangenomen dat omdat zoveel mensen in extreem intens contact met DDT kwamen en geen directe nadelige gevolgen ondervonden, de chemische stof zeker onschuldig moet zijn. Deze begrijpelijke misvatting komt voort uit het feit dat - in tegenstelling tot andere gechloreerde koolwaterstoffen - DDT in poedervorm niet gemakkelijk door de huid wordt opgenomen. Het penetreert gemakkelijk wanneer het wordt opgelost in olie, zoals gewoonlijk. Als het wordt ingeslikt, wordt het langzaam opgenomen door het spijsverteringskanaal; het kan ook worden opgenomen door de longen. Zodra DDT, dat, net als alle gechloreerde koolwaterstoffen, oplosbaar is in vet, het lichaam is binnengekomen, wordt het grotendeels opgeslagen in organen die rijk zijn aan vette stoffen, zoals de bijnieren, de testikels en de schildklier, en relatief grote hoeveelheden zijn ook afgezet in de lever, de nieren en het vet van het grote, beschermende mesen-

terium, het weefsel dat de darmen omhult en hecht aan de lichaamswand. Deze opslag van DDT begint met de kleinst denkbare inname, en de opslagplaatsen voor vetopslag fungeren als biologische loepen, zodat een inname van slechts een tiende van een deel per miljoen in het dieet resulteert in de opslag van tien tot vijftien delen per miljoen - een honderdvoudige toename of meer. Deze referentiewaarden, zo gewoon voor de chemicus of de farmacoloog, kennen de meesten van ons niet. Eén deel op een miljoen klinkt als een zeer kleine hoeveelheid - en dat is het ook. Maar sommige stoffen zijn zo krachtig dat een kleine hoeveelheid enorme veranderingen in het lichaam kan veroorzaken. Zo is bijvoorbeeld gebleken dat slechts drie delen DDT per miljoen een oxidatief enzym in de hartspier van proefdieren remmen. In andere experimenten slechts vijf delen DDT per miljoen veroorzaakten necrose of desintegratie van de levercellen; slechts 2,5 delen van de nauw verwante insecticiden dieldrin en chlordane hebben hetzelfde effect. Dit is echt niet verrassend.

Ook in de normale chemie van het menselijk lichaam is er zo'n verschil tussen oorzaak en gevolg. Een hoeveelheid jodium zo klein als twee tienduizendste van een gram kan bijvoorbeeld het verschil tussen gezondheid en ziekte **spellen**. Omdat deze kleine hoeveelheden pesticiden cumulatief worden opgeslagen en in het algemeen worden opgebouwd met een snelheid hoger dan die waarmee ze worden uitgescheiden, is de dreiging van chronische vergiftiging en van degeneratieve veranderingen van de lever en andere organen reëel.

Wetenschappers weten niet zeker hoeveel DDT in het menselijk lichaam kan worden opgeslagen. Sommigen geloven dat er een plafond is waarboven absorptie en opslag ophouden. Anderen doen niet. Voor praktische doeleinden is het niet bijzonder belangrijk welk standpunt juist is. Opslag bij mensen is goed onderzocht en we weten grofweg hoeveel de gemiddelde persoon opslaat. Volgens verschillende studies, individuen zonder bekende blootstelling behalve de onvermijdelijke dieet één winkel van 5,3 delen per miljoen tot 7,4 delen per miljoen; landarbeiders ongeveer 17,1 delen per miljoen; en werknemers in insecticidenfabrieken tot 648 delen per miljoen. Potentieel schadelijke hoeveelheden variëren ongetwijfeld van persoon tot persoon, en in elk geval kunnen schadelijke resultaten jarenlang niet optreden.

Een van de belangrijkste kenmerken van DDT en aanverwante chemicaliën is de manier waarop ze van het ene organisme op het andere worden overgedragen via alle schakels van de voedselketens. Velden van alfalfa, bijvoorbeeld, zijn afgestoft-DDT; maaltijd wordt later bereid uit de luzerne en aan kippen gevoerd; de kippen leggen eieren die DDT bevatten. Of het hooi, dat residuen van zeven tot acht delen per miljoen bevat, kan aan koeien worden gevoerd. De DDT verschijnt in de melk in een hoeveelheid van ongeveer drie delen per miljoen, maar in boter gemaakt van deze melk kan de concentratie oplopen tot vijfenzeftig delen per miljoen. Tijdens het overdrachtsproces kan wat begon als een zeer kleine hoeveelheid DDT eindigen als een zware concentratie. Het gif kan worden doorgegeven van moeder op nakomelingen.

De aanwezigheid van residuen van insecticiden in moedermelk is vastgesteld door wetenschappers van de *Food and Drug Administration*. Dit is waarschijnlijk echter niet de eerste keer dat de baby borstvoeding krijgt; er is een goede reden om te geloven dat hij giftige chemicaliën begint te krijgen terwijl hij nog in de baarmoeder is. Bij proefdieren de gechlloreerde koolwaterstofinsecticiden passeren vrij de barrière van de placenta, het traditionele beschermende schild tussen het embryo en schadelijke stoffen in het lichaam van de moeder. Hoewel de hoeveelheden die zo door menselijke zuigelingen worden ontvangen normaal gesproken klein zouden zijn, zouden ze niet onbelangrijk zijn, omdat kinderen gevoeliger zijn voor vergiftiging dan volwassenen.

Chlordaan, een andere gechlloreerde koolwaterstof, heeft alle onaangename eigenschappen van DDT, plus een paar eigen eigenschappen. De residuen zijn lang persistent in de bodem, op levensmiddelen en op oppervlakken waarop het kan worden toegepast, maar het is ook vrij vluchtig en

vergiftiging door inademing is een absoluut risico voor iedereen die ermee werkt of eraan wordt blootgesteld. Chlordane maakt gebruik van alle beschikbare portals bij het betreden van het lichaam. Een dieet met zo'n kleine hoeveelheid chloor als 2,5 delen per miljoen kan uiteindelijk leiden tot opslag van vijfenzeventig delen per miljoen in het vet.

In 1950 beschreef dr. Arnold J. Lehman, de belangrijkste farmacoloog van de *Food and Drug Administration*, chlordane als 'een van de meest giftige insecticiden', en voegde eraan toe: 'Iedereen die ermee omgaat, kan worden vergiftigd. "Om te oordelen naar de zorgeloze vrijheid waarmee stof voor de behandeling van grasvelden in de voorsteden wordt doorspekt met chlordane, is deze waarschuwing niet ter harte genomen. Als een suburbaniet die met een van hen omgaat, niet meteen wordt getroffen, betekent dit niet dat hij aan schade is ontsnapt; de gifstoffen kunnen lang in zijn lichaam slapen, om maanden of jaren later manifest te worden in een obscure stoornis die bijna onmogelijk te herleiden is naar zijn oorsprong, de dood kan echter soms snel toeslaan. Een man die per ongeluk een oplossing van 25% chloor op zijn huid had gemorst, ontwikkelde symptomen van vergiftiging binnen veertig minuten en stierf voordat medische hulp kon worden verkregen.

Heptachloor, een van de bestanddelen van chloorordaan, wordt op de markt gebracht als een afzonderlijke formulering. Het heeft een bijzonder hoge opslagcapaciteit voor vet. Als het dieet slechts een tiende van een deel per miljoen bevat, zullen er meetbare hoeveelheden heptachloor in het lichaam zijn. Het heeft ook het merkwaardige vermogen om verandering te ondergaan in een chemisch verschillende substantie die bekend staat als heptachloorepoxide. Het doet dit in de bodem en in de weefsels van zowel planten als dieren. Laboratoriumtests op kwartels tonen aan dat het epoxide twee tot vier keer zo giftig is als de oorspronkelijke chemische stof.

Al halverwege de jaren dertig bleek een speciale groep koolwaterstoffen, de gechloreerde naftalenen, hepatitis en een zeldzame en vrijwel altijd dodelijke ziekte te veroorzaken die bekend staat als gele atrofie van de lever bij personen die worden blootgesteld aan beroepsmatige blootstelling. Deze chemicaliën hebben geleid tot ziekte en overlijden van werknemers in de elektrische industrie (waar ze worden gebruikt voor isolatie), en meer recent, in de landbouw, worden ze beschouwd als een oorzaak van een mysterieuze en meestal dodelijke ziekte van vee. Het is niet verwonderlijk dat drie van de insecticiden die tot deze groep behoren, tot de meest giftige van alle koolwaterstoffen behoren. Dit zijn dieldrin, aldrin en endrin.

Dieldrin, genoemd naar een Duitse chemicus, Otto Diels, is ongeveer vijf keer zo giftig als DDT wanneer het het lichaam via de mond binnendringt en veertig keer zo giftig wanneer het door de huid in oplossing wordt geabsorbeerd. Het is berucht om snel op het zenuwstelsel te slaan en het slachtoffer in stuipen te brengen. Omdat de insecticide werking van dieldrin bijzonder krachtig is, en omdat de residuen ervan gedurende een lange periode aanhouden, is het tegenwoordig een van de meest gebruikte insecticiden. Er zijn grote gaten in onze kennis van hoe dieldrin wordt opgeslagen en verspreid in het lichaam, en van de mate waarin het wordt uitgescheiden, maar er zijn aanwijzingen voor langdurige opslag in het menselijk lichaam, waar afzettingen slapend kunnen liggen als een sluimerende vulkaan, alleen om op te schieten in periodes van fysiologische stress, wanneer het lichaam zijn vetreserves aantrekt.

Veel van wat we weten, is door harde ervaring geleerd in de anti-malariacampagnes van de Wereldgezondheidsorganisatie. Omdat de malariamuggen resistent zijn geworden tegen DDT, is dieldrin vervangen door malariabestrijdingswerk en, aangezien dit is gebeurd, zijn gevallen van vergiftiging zijn verschenen onder de sproeiers. Een studie gepubliceerd in 1959 meldde dat de aanvallen ernstig waren; van de helft tot alle getroffen mannen - het aandeel varieerde in verschillende programma's - kreeg stuiptrekkingen en verscheidene stierven. Sommigen waren nog steeds blootgesteld aan convulsies tot vier maanden na de laatste blootstelling.

Aldrin is een nog mysterieuzere substantie, want hoewel het als een aparte bestaat entiteit, draagt het de relatie van alter ego tot dieldrin. Wanneer wortels worden genomen uit een bed dat met aldrin is behandeld, blijken ze residuen van dieldrin te bevatten - een verandering die zowel in de levende weefsels als in de bodem optreedt. Als een chemicus, wetende dat aldrin is toegepast, er op test, zal hij bedrogen worden door te denken dat alle residuen zijn verdwenen. De residuen zijn er, maar ze zijn dieldrin, en dit vereist een andere test. In elk geval is aldrin iets giftiger dan dieldrin. Het heeft degeneratieve veranderingen in de lever en nieren van proefdieren veroorzaakt. Een hoeveelheid zo groot als een aspirinetablet is voldoende om meer dan vierhonderd kwartel te doden. Veel gevallen van menselijke vergiftiging zijn geregistreerd, de meeste in verband met industriële behandeling.

Verder, aldrin, zoals de meeste van deze groep insecticiden, projecteert een dreigende schaduw in de toekomst - de schaduw van steriliteit. Vogels die het in te kleine hoeveelheden consumeren, leggen weinig eieren en de kuikens die uitkomen sterven snel. Ratten die zijn blootgesteld aan aldrin hebben minder zwangerschappen, en hun jongen zijn ziek en van korte duur, en van puppy's waarvan de moeder is blootgesteld aan het gif is bekend dat ze binnen drie dagen sterven. Op de een of andere manier lijden de nieuwe generaties als gevolg van vergiftiging van hun ouders. Niemand weet of hetzelfde effect bij mensen zal worden waargenomen.

Het derde deel van de naftalenen, endrine, is misschien wel de meest giftige van alle gechlloreerde koolwaterstoffen die nu in gebruik zijn. Hoewel het chemisch nogal nauw verwant is aan dieldrin, maakt een kleine draai in zijn moleculaire structuur het tot twaalf keer zo giftig voor ratten; ter vergelijking: DDT lijkt bijna onschadelijk. In het decennium van zijn gebruik heeft endrin enorme aantallen vissen gedood, vee dodelijk vergiftigd dat in besproeide boomgaarden is rondgelopen en putten vergiftigd. Ten minste één gezondheidsafdeling van de staat heeft gewaarschuwd dat onzorgvuldig gebruik van endrin mensenlevens in gevaar brengt. Maar zelfs schijnbaar zorgvuldig gebruik kan gevaarlijk zijn. In 1958 was een Amerikaans echtpaar met een jaar oude jongen in Venezuela gaan wonen. Er waren kakkerlakken in het huis waar ze naar toe verhuisden en na een paar dagen gebruikten ze een spray met endrin. De baby en de kleine familiehond werden uit het huis gehaald voordat het sproeien klaar was, op een ochtend rond negen uur. Na het sproeien werden de vloeren gewassen.

De baby en de hond werden halverwege de middag teruggebracht naar het huis. Ongeveer een uur later braakte de hond, kreeg stuiptrekkingen en stierf. Om tien uur 's avonds braakte de baby ook en kreeg stuiptrekkingen "en verloor toen het bewustzijn. Deze, normale, gezonde kind werd **meteen** weinig meer dan een plantje - niet in staat om te zien of te horen, onderhevig aan frequente spierkrampen, en het **lijkt** erop dat het volledig is afgesneden van zijn omgeving. Enkele maanden behandeling in een New York ziekenhuis kon zijn toestand niet veranderen of hoop op verandering brengen. "Het is uiterst twijfelachtig," meldden de behandelend artsen, "**dat elke nuttige mate van herstel zal plaatsvinden.**"

De tweede grote groep insecticiden, de organische fosfaten - esters van fosforzuur - behoren tot de meest giftige chemicaliën ter wereld. De oorsprong van deze chemicaliën heeft een zekere ironische betekenis. Sommigen van hen waren al vele jaren bekend, maar hun insecticide eigenschappen werden voor het eerst ontdekt door een Duitse scheikundige, Gerhard Schrader, eind jaren dertig. Bijna onmiddellijk erkende de Duitse regering de waarde van deze chemicaliën als nieuwe en verwoestende wapens in de oorlog van de mens tegen zijn eigen soort, en het werken eraan werd geheim verklaard. Sommige werden zenuwgassen. Anderen werden insecticiden. Het belangrijkste en meest voor de hand liggende gevaar bij het gebruik ervan is dat van acute vergiftiging van mensen die de sprays aanbrengen of per ongeluk in contact komen met afdrijvende spray, of vegetatie die ermee is bedekt, of een weggegooide container. In Florida, in 1960, twee kinderen gebruikten een weggegooide tas om een schommel te repareren. Kort daarna stierven beiden en drie van hun speelkame-

raadjes werden ziek. De zak had ooit de insecticide parathion bevatten, en tests bewezen dood door parathionvergiftiging.

De organische fosfaatinsecticiden werken op een bijzondere manier in op het levende organisme. Ze hebben het vermogen om enzymen te vernietigen - enzymen die noodzakelijke functies in het lichaam vervullen. Hun doelwit, of het slachtoffer nu een insect is of een warmbloedig dier, is het zenuwstelsel. Onder normale omstandigheden gaat een impuls van zenuw naar zenuw met behulp van een "chemische zender" genaamd acetylcholine, een stof die een essentiële functie vervult en vervolgens verdwijnt. Het bestaan ervan is inderdaad zo kortstondig dat medische onderzoekers het zonder speciale procedures niet kunnen testen voordat het lichaam het heeft vernietigd. De voorbijgaande aard van de chemische zender is noodzakelijk voor de normale werking van het lichaam. Als de acetylcholine niet wordt geïnactiveerd zodra een zenuwimpuls voorbij is, blijven impulsen flitsen over de brug van zenuw naar zenuw; de chemische stof blijft niet alleen zijn effect uitoefenen, maar oefent deze ook steeds intensiever uit. De bewegingen van het hele lichaam worden ongecoördineerd; tremoren, spierkrampen, convulsies en de dood resulteren snel. Gelukkig heeft het lichaam een eigen beschermend middel tegen dit gevaar - een enzym genaamd cholinesterase, dat de overdragende chemische stof afbreekt zodra deze niet meer nodig is.

Op deze manier wordt een precies evenwicht bereikt en bouwt het lichaam nooit een gevaarlijke hoeveelheid op van acetylcholine. Maar bij contact met de organische fosfaatinsecticiden wordt de activiteit van het beschermende enzym geremd en naarmate de effectieve hoeveelheid van het enzym wordt verminderd, bouwt die van de chemische zender op. Door dit effect te hebben, lijken de organische fosfaatverbindingen op het alkaloïde gif muscarine, gevonden in een giftige paddestoel, de vliegamaniet. Herhaalde blootstelling kan het cholinesterase-niveau verlagen totdat een persoon de rand van acute vergiftiging bereikt - een rand waarover hij kan worden geduwd door een zeer kleine extra blootstelling. Om deze reden wordt het belangrijk geacht om periodiek onderzoek van het bloed van spuitoperatoren en anderen regelmatig te laten uitvoeren.

Parathion is een van de meest gebruikte organische fosfaten. Het is ook een van de krachtigste. Honingbijen worden geagiteerd en oorlogszuchtig bij contact ermee, voeren verwoede schoonmaakbewegingen uit en zijn binnen een half uur bijna dood. Een scheikundige, in de hoop op de meest directe manier de dosis acuut giftig voor de mens te leren, slikte een kleine hoeveelheid, ongeveer 0,00424 ounce. Verlamming volgde zo snel dat hij de antidota die hij bij de hand had niet kon bereiken, en dus stierf hij.

Een van de omstandigheden die ons redden van uitsterven door parathion en de andere chemicaliën van de organische fosfaatgroep is dat ze vrij snel worden afgebroken. Ze gaan echter lang genoeg mee om gevaren te veroorzaken en gevolgen te hebben die variëren van louter ernstig tot fataal.

In Riverside, Californië, elf van de dertig mannen die sinaasappels plukten, werden **gewelddadig** ziek en op één na moesten alle elf in het ziekenhuis worden opgenomen. Het bosje was zo'n twee en een halve week eerder met parathion besproeid; de residuen die hen terugbrachten tot kokhalzen, halfblinde, halfbewuste ellende waren van zestien tot negentien dagen oud. En dit is geenszins een record voor volharding.

Op citrusvruchten is gevonden dat parathion een "halfwaardetijd" heeft van zestig tot tachtig dagen; in die tijd desintegreert de helft van de chemische stof. Het gevaar voor alle werknemers die de organische fosfaatinsecticiden toepassen, is zo extreem dat sommige staten die deze chemicaliën gebruiken laboratoria hebben opgericht waar artsen hulp kunnen krijgen bij de diagnose en behandeling. De artsen zelf kunnen gevaar lopen, tenzij ze rubberen handschoenen dragen terwijl ze de slachtoffers van vergiftiging hanteren. Zo kan een wasvrouw de kleding van een slachtoffer wassen. Parathion zou nu een favoriet zelfmoordinstrument zijn in Finland. In de afgelopen jaren heeft de staat Californië jaarlijks gemiddeld tweehonderd gevallen van accidentele parathionvergiftiging ge-

meld. In veel delen van de wereld is het sterftcijfer van parathion verbazingwekkend: honderd dodelijke gevallen in India en zevenenzestig in Syrië in 1958 en gemiddeld driehonderdzesendertig per jaar in Japan.

Toch wordt nu jaarlijks ongeveer zes miljoen pond parathion toegepast op velden, boomgaarden en wijngaarden van de Verenigde Staten - met handsproeiers, gemotoriseerde blazers en stofdoeken en per vliegtuig. Het bedrag dat alleen op boerderijen in Californië wordt gebruikt, zou volgens Dr. Irma West van het California State Department of Public Health, Malathion is bijna net zo vertrouwd bij het publiek als DDT, wordt veel gebruikt in de tuin, in huishoudelijke insecticiden, in mug spuiten en in dergelijke algemene aanvallen op insecten als het spuiten van bijna een miljoen hectare in Florida voor de mediterrane fruitvlieg.

Het wordt beschouwd als de minst giftige van de organische fosfaten en veel mensen nemen aan dat ze het vrij kunnen gebruiken. De beweerde veiligheid van **malathion** berust eigenlijk op nogal precarie grond, hoewel - zoals vaak gebeurt - dit pas werd ontdekt nadat de chemische stof al enkele jaren in gebruik was. Malathion is 'veilig' alleen omdat de lever van zoogdieren, een orgaan met buitengewone beschermende krachten, het relatief onschadelijk maakt. De ontgiftiging wordt bereikt door een van de enzymen van de lever. Als echter iets dit enzym vernietigt of de werking ervan verstoort, de persoon die wordt blootgesteld aan malathion ontvangt de volledige kracht van zijn toxische werking, die lijkt op die van de andere organische fosfaten. Helaas zijn er voor ons allemaal legio kansen om dit soort dingen te laten gebeuren.

Een paar jaar geleden ontdekte een team van wetenschappers van de *Food and Drug Administration* dat wanneer malathion en een van de andere organische fosfaten gelijktijdig worden toegediend, een ernstige vergiftiging het gevolg is - tot vijftig keer zo ernstig als men zou voorspellen op basis van het optellen van toxiciteiten van de twee. Met andere woorden, een honderdste van de dodelijke dosis van elke verbinding kan fataal zijn wanneer de twee worden gecombineerd. Deze ontdekking leidde tot het testen van andere combinaties, en hoewel de volledige reikwijdte van de interactie van chemicaliën nog niet is vastgesteld, het is nu bekend dat veel paren organische fosfaatinsecticiden even gevaarlijk zijn, waarbij de toxiciteit wordt "versterkt" of opgevoerd door de gecombineerde werking. Potentiëring lijkt plaats te vinden wanneer de ene verbinding het leverenzym vernietigt dat verantwoordelijk is voor het ontgiften van de andere.

De twee hoeven niet tegelijkertijd te worden gegeven. En het gevaar bestaat niet alleen voor de man die deze week met een insecticide en volgende week met een ander kan spuiten; het bestaat ook voor de consument van gespoten producten. De gemeenschappelijke slakom kan gemakkelijk een combinatie van organische fosfaatinsecticiden voorstellen in hoeveelheden die groot genoeg zijn om te interageren.

In de Griekse mythologie was de tovenares Medea woedend dat ze werd verdrongen door een rivaal in de genegenheden van haar echtgenoot, Jason, presenteerde de nieuwe bruid een gewaad met magische eigenschappen. De drager van het gewaad leed onmiddellijk een gewelddadige dood. Deze dood door indirection heeft nu zijn tegenhanger in wat bekend staat als 'systemische insecticiden'. Dit zijn chemicaliën die worden gebruikt om planten of dieren om te vormen tot een soort gewaad van Medea. Het doel is om insecten te doden die in contact kunnen komen met deze giftige wezens, vooral door hun sappen of hun bloed op te zuigen. De wereld van systemische insecticiden is een rare wereld en overtreft de verbeelding van de gebroeders Grimm. Het is een wereld waar het betoverde woud van de sprookjes een giftig woud is geworden. Het is een wereld waar een vlo een hond bijt en sterft, waar een insect kan sterven als gevolg van het kauwen op een blad of het inademen van dampen afkomstig van een plant die het nooit heeft aangeraakt.

De droom van de entomologen over het ingebouwde insecticide werd geboren toen werknemers op het gebied van toegepaste entomologie beseften dat ze een hint uit de natuur konden nemen: ze ontdekten dat tarweteelt in grond die natriumselenaat bevat, giftig was voor bladluizen. Selenium, een natuurlijk voorkomend element dat spaarzaam in rotsen en bodems van vele delen van de wereld wordt gevonden, werd zo het eerste systemische insecticide. Wat een insecticide systemisch maakt, is zijn vermogen om alle weefsels van een plant of dier te doordringen en ze toxisch te maken. Deze kwaliteit is in het bezit van sommige chemicaliën van de chloorkoolwaterstofgroep en van andere van de organische fosfaatgroep, alle synthetisch geproduceerd. In de praktijk zijn de meeste systemieken afkomstig van de organische fosfaatgroep, omdat hiermee het probleem van residuen iets minder acuut is.

Systemics kunnen op slinkse manieren handelen. Toegepast op zaden, hetzij door weken of door middel van een coating waarin het systemische wordt gecombineerd met koolstof, breiden ze hun effecten uit naar de volgende plantgeneratie en produceren zaailingen die giftig zijn voor bladluizen en andere zuigende insecten. Groenten zoals erwten, bonen en suikerbieten worden soms dus beschermd. Katoenzaden bekleed met een systemisch phoraat zijn al enige tijd in Californië in gebruik en in 1959 werden vijftientig landarbeiders in de San Joaquin Valley, die zakken met behandelde zaden hadden behandeld, in beslag genomen door een plotselinge ziekte. In Engeland vroeg iemand zich af wat er gebeurde toen bijen gebruik maakten van nectar van planten die met systemica waren behandeld. Dit is onderzocht in gebieden die zijn behandeld met een chemische stof die schradan wordt genoemd. Hoewel de planten waren bespoten voordat de bloemen werden gevormd, de nectar die ze produceerden, bevatte het gif. Het resultaat, zoals voorspeld kon worden, was dat de honing van de bijen ook met schradan was besmet.

Dierlijke systemiek is hoofdzakelijk gebruikt om de veeteelt te beheersen, een schadelijke parasiet van vee. Er moet uiterste zorg worden besteed om een insecticide effect in het bloed en de weefsels van de gastheer te creëren zonder een fatale vergiftiging op te zetten. Het evenwicht is inderdaad zeer delicaat en de dierenartsen van de overheid hebben ontdekt dat herhaalde kleine doses de toevoer van cholinesterase door een dier geleidelijk kunnen afbreken, zodat zonder waarschuwing een minuut extra dosis vergiftiging kan veroorzaken. Vooralsnog lijkt niemand een menselijk systeem te hebben voorgesteld dat ons dodelijk zou maken voor een mug. Misschien is dit de volgende stap.

Wanneer we onze aandacht richten op herbiciden of onkruidverdelgers, komen we al snel de legende tegen dat ze alleen giftig zijn voor planten. Helaas is dit slechts een legende. De plantenmoorde-naars bevatten een grote verscheidenheid aan chemicaliën die zowel op dierlijk weefsel als op vegetatie inwerken. Geen algemene verklaring kan de actie van allemaal beschrijven. Sommige zijn algemene vergiften; sommige zijn krachtige stimulerende middelen voor de stofwisseling, waardoor de lichaamstemperatuur fataal stijgt; sommige kunnen kwaadaardige tumoren veroorzaken, alleen of in samenwerking met andere chemicaliën; sommige kunnen genmutaties veroorzaken.

Arseenverbindingen worden nog steeds royaal gebruikt, zowel als insecticiden als als onkruidverdelgers, waar ze meestal de chemische vorm van natriumarseniet aannemen. De geschiedenis van hun gebruik is niet geruststellend. Als bermsprays hebben ze menig boer zijn koe gekost en ontelbare aantallen wilde wezens gedood. Als aquatische onkruidverdelgers hebben ze openbare wateren ongeschikt gemaakt om te drinken of zelfs om te zwemmen. Als een spray op aardappelvelden wordt toegepast om de wijnstokken te vernietigen, hebben ze een tol van menselijk en niet-menselijk leven geëist. In Engeland ontwikkelde deze laatste praktijk zich rond 1951, als gevolg van een tekort aan zwavelzuur, dat vroeger werd gebruikt om de aardappelstokken af te branden. Het ministerie van Landbouw achtte het noodzakelijk een waarschuwing te geven voor het gevaar van het betreden van met arseen bespoten velden, maar de waarschuwing werd niet begrepen door het vee (of

door de wilde dieren en vogels), en rapporten van vergiftigd vee werden met monotone regelmaat ontvangen. In 1959, nadat de dood van een boerin was bereikt door met arseen besmet water, stopte een van de grote Engelse chemische bedrijven met de productie van arseenspray en riep de bevoorrading al in handen van dealers, en kort daarna kondigde het ministerie van Landbouw aan dat beperkingen op het gebruik van arsenieten zou worden opgelegd. In 1961 kondigde de Australische regering een soortgelijk verbod aan. Dergelijke beperkingen belemmeren het gebruik van deze gifstoffen in de Verenigde Staten niet.

De meest gebruikte herbiciden zijn 2,4-D, 2,4,5-T en verwante leden van wat bekend staat als defenol groep. Veel experts ontkennen dat deze giftig zijn. Mensen die hun gazons met 2,4-D besproeien en nat worden met spray, hebben echter af en toe ernstige neuritis en zelfs verlamming ontwikkeld. Hoewel dergelijke incidenten blijkbaar ongewoon zijn, adviseren medische autoriteiten voorzichtigheid bij het gebruik van deze verbindingen. Andere gevaren, meer obscuur, kunnen ook het gebruik van 2,4-D met zich meebrengen. Experimenten hebben het vermogen aangetoond om het fysiologische basisproces van de ademhaling in de cel te verstoren en, net als röntgenfoto's, de chromosomen te beschadigen. Sommige zeer recente onderzoeken wijzen erop dat subdodelijke doses van deze herbiciden de voortplanting bij vogels kunnen beïnvloeden. De rest van de fenolen kan even gevaarlijk zijn. Dinitrofenol bijvoorbeeld verhoogt het metabolisme. Om deze reden werd het ooit in de Verenigde Staten gebruikt als een reductiemiddel, maar de marge tussen de afslankdosis en de dosis die nodig was om te vergiftigen of te doden was gering - zo klein dat ten minste negen patiënten stierven en velen aan permanent letsel leden voordat het gebruik van het medicijn eindelijk werd stopgezet.

Het interfereert met de energiebron van het lichaam op een zodanige manier dat het aangetaste organisme zichzelf bijna letterlijk verbrandt. Een verwante chemische stof, pentachloorfenol, soms bekend als "penta", wordt zowel als onkruidverdelger als als insecticide gebruikt, vaak gespoten langs spoorwegen en in afvalgebieden. De **angstige** kracht van penta, die op vrijwel dezelfde manier werkt als dinitrofenol, wordt geïllustreerd in een dodelijk ongeval dat onlangs werd gemeld door het *California State Department of Public Health*. Een man was een katoenontbladeraar aan het bereiden door dieselolie met penta te mengen. Terwijl hij de geconcentreerde chemische stof uit een trommel trok, de spie viel per ongeluk terug. Hij stak zijn blote hand uit om de spie terug te krijgen. Hoewel hij zich onmiddellijk waste, werd hij acuut ziek en stierf de volgende dag.

Nieuwsgierige indirecte resultaten volgen op het gebruik van bepaalde herbiciden. Gebleken is dat dieren - zowel wilde herbivoren als vee - zich soms vreemd aangetrokken voelen tot een plant die is bespoten, ook al is dit niet een van hun natuurlijke voedingsmiddelen. Blijkbaar maakt het verwelken dat volgt op sproeien (of snijden) de plant aantrekkelijk. Als een zeer giftig herbicide, zoals arseen, is gebruikt, heeft dit intense verlangen om de verwelkende vegetatie te bereiken onvermijdelijk desastreuze gevolgen. Dergelijke gevolgen kunnen ook voortkomen uit het gebruik van minder giftige herbiciden in gevallen waarin de plant zelf giftig is of, misschien, doornen of boren bezit.

Giftig onkruid bijvoorbeeld is na het sproeien plotseling aantrekkelijk geworden voor vee en de dieren zijn gestorven aan deze onnatuurlijke eetlust. De literatuur van de diergeneeskunde is rijk aan vergelijkbare voorbeelden: varkens die gespoten cockleburs eten met bijgevolg ernstige ziekte, lammeren die opgespoten distels eten, bijen vergiftigd door weiden op mosterd die waren besproeid nadat het in bloei was gekomen.

Wilde kers, waarvan de bladeren zeer giftig zijn, heeft een fatale aantrekkingskracht gehad op vee zodra het gebladerte is besproeid met 2,4-D. De verklaring voor dit eigenaardige gedrag lijkt soms te liggen in de veranderingen die de chemische stof teweegbrengt in het metabolisme van de plant.

Er is een tijdelijke maar duidelijke toename van het suikergehalte en veel dieren zoeken de plant op vanwege zijn zoetheid.

Een ander merkwaardig effect van 2,4-D heeft belangrijke gevolgen voor vee en dieren in het wild, en blijkbaar ook voor mannen. Experimenten die ongeveer tien jaar geleden werden uitgevoerd, toonden aan dat na behandeling met deze chemische stof het nitraatgehalte van maïs en suikerbieten sterk is toegenomen, en dat dit ook zou kunnen gelden voor sorghum, zonnebloem, spiderwort, lamswarten, varkenspest, en smartweed. Sommige hiervan worden normaal genegeerd door vee, maar worden met smaak gegeten na behandeling met 2,4-D.

Volgens sommige landbouwspecialisten is een aantal sterfgevallen onder runderen herleid tot dergelijk bespoten onkruid. Alle herkauwers - niet alleen vee, maar wilde herkauwers, zoals herten, antilopen, schapen en geiten - hebben een spijsverteringsstelsel van buitengewone complexiteit, inclusief een maag verdeeld in verschillende kamers. De vertering van cellulose vindt plaats in een van de kamers, door de werking van micro-organismen bekend als pensbacteriën. Wanneer het dier zich voedt met vegetatie die nitraten bevat, veranderen de pensbacteriën deze in nitrieten, en als het nitraatniveau abnormaal hoog is, volgt een fatale reeks gebeurtenissen.

Wanneer de nitrieten in grote hoeveelheden aanwezig zijn, werken ze op het bloedpigment en vormen een chocoladebruine substantie waarin zuurstof zo stevig wordt vastgehouden dat het niet kan worden overgedragen van de longen naar de weefsels. En de dood treedt op binnen een paar uur na anoxie of zuurstofgebrek.

Nu blijkt dat het gebruik van maïs met 2,4-D een factor kan zijn in de huidige toename van het aantal "silododen" - doden van mannen die silo's zijn binnengegaan waar maïs, haver, of sorghum dat grote hoeveelheden nitraten bevat, heeft giftige stikstofdioxidegassen afgegeven. Het probleem is zo ernstig dat de *New York State Coöperative Extension Service* onlangs een posterwaarschuwing heeft uitgegeven:

"Silogassen kunnen u en uw kudde doden!" Hoewel verschillende factoren, waaronder uitzonderlijk droog weer, een toename van het nitraatgehalte kunnen veroorzaken, kan het effect van 2,4-D niet worden genegeerd. De situatie werd door het Agricultural Experiment Station van de Universiteit van Wisconsin belangrijk genoeg geacht om een waarschuwing in 1957 te rechtvaardigen dat "planten die worden gedood door 2,4-D kan grote hoeveelheden nitraat bevatten." Slechts een paar ademhalingen van een van de gassen die vrijkomen door nitraten kan een diffuse chemische longontsteking veroorzaken. In een aantal gevallen bestudeerd door de University of Minnesota Medical School, op één na fataal beëindigd.

De vervuiling van ons milieu heeft vele bronnen - radioactief afval, neerslag van nucleaire explosies, huishoudelijk afval van steden en dorpen, en chemisch afval van fabrieken en de nieuwe neerslag van chemische sprays - en het beïnvloedt alle natuurlijke hulpbronnen van de mens. Hiervan is water het kostbaarst geworden. Verreweg het grootste deel van het aardoppervlak is bedekt met zijn zeeën, maar te midden van deze overvloed zijn we in gebreke. Het grootste deel van het overvloedige water op aarde is niet bruikbaar voor landbouw, industrie of menselijke consumptie, vanwege de zware hoeveelheid zout, en dus ondervindt het grootste deel van de wereldbevolking kritieke watertekorten of wordt daarmee bedreigd.

Sinds chemici stoffen begonnen te produceren die de natuur nooit heeft uitgevonden, zijn de problemen van waterzuivering complexer geworden en is het gevaar voor gebruikers van water toegenomen. In rivieren is een werkelijk ongelooflijke verscheidenheid aan verontreinigende stoffen aanwezig, die gecombineerde afzettingen produceren die de sanitair ingenieurs alleen wanhoops kunnen

noemen als 'smurrie'. Professor Rolf Eliassen van het Massachusetts Institute of Technology getuigde voor een congrescomité van de onmogelijkheid om de organische te identificeren materie als gevolg van het mengsel. "We weten niet wat dat is", zei professor Eliassen. "Wat is het effect op mensen? We weten het niet." "We weten één ding, en dat is dat in toenemende mate pesticiden bijdragen aan deze organische verontreinigende stoffen. Omdat ze onlosmakelijk worden vermengd met huishoudelijk en ander afval, ze trotseren soms detectie door de standaardmethoden die in zuiveringsinstallaties worden gebruikt. Vaak kunnen ze niet worden geïdentificeerd, en zelfs als ze dat zijn, zijn de meeste van hen zo stabiel dat ze niet kunnen worden afgebroken door gewone processen. Sommige worden opzettelijk aangebracht op waterlichamen om planten, insectenlarven of ongewenste vissen te vernietigen. Sommige komen van bosspuiten, in de loop waarvan twee of drie miljoen hectare van een van onze staten kunnen worden bedekt met spray gericht tegen een enkele insectenplaag - spray die rechtstreeks in beekjes valt of anders door de lommerrijke luifel naar het bos druppelt vloer, daar om deel te worden van de langzame beweging van sijpelend vocht die aan zijn lange reis naar de zee begint. Waarschijnlijk is het grootste deel van dergelijke verontreinigingen echter. Hier en daar hebben we dramatisch bewijs van de aanwezigheid van deze chemicaliën in onze stromen, en zelfs in openbare watervoorraden. Een monster van drinkwater uit een boomgaardgebied in Pennsylvania werd getest op vissen in een laboratorium; het bevatte voldoende insecticide om alle vissen binnen vier uur te doden. De afvoer van velden behandeld met een gechloreerde koolwaterstof genaamd toxaphene doodde alle vissen in vijftien stromen zijrivier aan de Tennessee-rivier, in Alabama, waarvan twee bronnen van gemeentelijke watervoorraden; het water bleef een week lang giftig na het aanbrengen van het insecticide - een feit dat werd bepaald door de dagelijkse dood van goudvissen die in stroomafwaartse kooien waren opgehangen. Voor het grootste deel is dergelijke vervuiling onzichtbaar; het kan zijn aanwezigheid bekend maken wanneer honderden of duizenden vissen sterven, maar vaker wordt het helemaal nooit gedetecteerd.

Iedereen die eraan twijfelt dat onze wateren bijna universeel zijn besmet met insecticiden, kan best een kort rapport bestuderen dat is uitgegeven door de Amerikaanse *Fish and Wildlife Service* in 1960. De Service heeft studies uitgevoerd om te ontdekken of vissen, zoals warmbloedige dieren, insecticiden opslaan in hun weefsels. De eerste monsters werden genomen uit een kreek in een bosgebied in het westen waar DDT massaal was bespoten voor de bestrijding van de sparrenworm. Zoals te verwachten was, bevatten al deze vissen DDT. De echt belangrijke bevindingen werden gedaan toen de onderzoekers zich wendden voor vergelijking met een afgelegen kreek dertig mijl van het dichtstbijzijnde gebied bespoten voor budworm controle. Deze kreek lag stroomopwaarts van de eerste en werd ervan gescheiden door een hoge waterval. Er is geen plaatselijk sproeien bekend. Maar ook de vis in die kreek bevatte DDT. Was de chemische stof in de lucht, naar beneden gedaald als neerslag op het oppervlak van de kreek? Of had het de kreek bereikt via verborgen ondergrondse stromen?

Waarschijnlijk is geen enkel aspect van het hele watervervuilingsprobleem meer verontrustend dan de dreiging van wijdverbreide verontreiniging van het grondwater. De natuur werkt zelden of nooit in afzonderlijke compartimenten, en dat heeft ze niet gedaan bij het verdelen van de watervoorziening van de aarde. Terwijl regen op het land valt, sijpelt het naar beneden door poriën en scheuren in grond en rots, die dieper en dieper doordringen, totdat het uiteindelijk een zone bereikt waar alle poriën van het gesteente gevuld zijn met water - een donkere, ondergrondse zee, oprijzend onder heuvels, zinkend onder valleien. Dit grondwater is altijd in beweging, soms zo langzaam als vijftig voet per jaar, soms zo snel als bijna een tiende mijl per dag. Het reist ongezien totdat het, hier en daar, aan de oppervlakte komt als een veer, of misschien wordt afgetapt om een put te voeden. Maar meestal draagt het onzichtbaar bij aan beken, en dus aan rivieren. Met uitzondering van het water dat stromen rechtstreeks binnentreedt als regen of oppervlakteafvoer, was al het stromende water op het aardoppervlak ooit grondwater. En dus is vervuiling van het grondwater overal vervuiling van

water.

Het moet door zo'n donkere ondergrondse zee zijn geweest dat giftige chemicaliën van een fabriek in Colorado naar een landbouwdistrict enkele kilometers verderop reisden. Wat er in het kort is gebeurd, is dit. In 1943 begon het Rocky Mountain Arsenal van het Army Chemical Corps, gelegen nabij Denver, oorlogsmaterialen te produceren. Acht jaar later werden de faciliteiten van het arsenaal verhuurd aan een particulier oliebedrijf voor de productie van insecticiden. Zelfs vóór de omschakeling begonnen er echter mysterieuze rapporten binnen te komen. Boeren op enkele kilometers van de fabriek meldden onverklaarde ziekte bij vee en ze klaagden over uitgebreide schade aan gewassen; gebladerte werd geel, planten konden niet volwassen worden en veel gewassen werden ronduit gedood. En er waren meldingen van menselijke ziekten. Het water dat werd gebruikt voor de irrigatie van deze boerderijen was afkomstig van ondiepe bronnen. In 1959 werd een studie uitgevoerd waaraan verschillende overheids- en federale agentschappen deelnamen, en toen de bronwateren werden onderzocht, bleken ze een assortiment chemicaliën te bevatten. Zulke afvalstoffen als chloriden, chloraten, zouten van fosfonzuur, fluoriden en arseen waren uit het Rocky Mountain Arsenal geloosd tijdens de jaren van zijn werking door het Army Chemical Corps. Er werd geconcludeerd dat sommige van deze afvalstoffen hun weg naar het grondwater hadden gevonden bij het arsenaal en dat het zeven tot acht jaar had geduurd voordat ze ondergronds waren gereisd over een afstand van ongeveer drie mijl van twee van de oorspronkelijke opslagvijvers van het arsenaal - slechts depressies in de aarde, waarin afval werd geloosd - naar de dichtstbijzijnde boerderij. De onderzoekers wisten geen manier om de besmetting te bedwingen - om de opmars ervan te stoppen.

Dit was allemaal erg genoeg, maar het meest mysterieuze en waarschijnlijk op de lange termijn het belangrijkste kenmerk van de hele aflevering was de ontdekking van 2,4-D in de wachtvijvers van het arsenaal, hoewel er tijdens die periode geen 2,4-D was vervaardigd elke fase van operaties.

Na lang en zorgvuldig onderzoek concludeerden de chemici in de fabriek dat de 2,4-D spontaan was gevormd in de opslagvijvers, van andere stoffen die uit het arsenaal werden geloosd; in aanwezigheid van katalyserende lucht en zonlicht, en zonder tussenkomst van menselijke chemici, waren de vijvers laboratoria geworden voor de productie van een nieuwe chemische stof.

Inderdaad, een van de meest alarmerende aspecten van de chemische vervuiling van water is het feit dat in rivier of meer of reservoir - of trouwens in het glas water dat aan je eettafel wordt geserveerd - chemische stoffen zijn gemengd die geen enkele verantwoordelijke scheikundige zou doen denken aan combineren in zijn laboratorium. De mogelijke interacties tussen deze chemische stoffen, die vaak op zichzelf relatief onschadelijk zijn, zijn zeer verontrustend voor functionarissen van de Amerikaanse Public Health Service. De reacties kunnen plaatsvinden tussen twee of meer chemicaliën, of tussen verschillende chemicaliën en radioactief afval. Onder invloed van ioniserende straling kunnen herschikkingen van atomen gemakkelijk plaatsvinden, waardoor de aard van de chemische stof op een geheel onvoorspelbare manier verandert, en een die volledig buiten controle is.

Een treffend voorbeeld van de verontreiniging van oppervlaktewater lijkt zich op te bouwen in de National Wildlife Refuges at Tule Lake en Lower Klamath Lake, beide in Californië. Deze schuilplaatsen maken deel uit van een groep, waartoe ook het toevluchtsoord op Upper Klamath Lake behoort, net over de grens in Oregon. De drie zijn, misschien fataal, verbonden door een gedeelde watervoorziening, en ze liggen als kleine eilanden in een grote zee van omringende landerijen - land teruggewonnen door drainage en stroomafleiding van een origineel watervogelparadijs van moeras en open water. Deze landerijen rond de schuilplaatsen worden nu geïrrigeerd door water uit Upper Klamath Lake. De irrigatiewateren, die opnieuw zijn verzameld uit de velden die ze hebben geëdiend, worden in Tule Lake gepompt en vandaar in Lower Klamath Lake. In de zomer van 1960 bi-

ologen pakten honderden dode en stervende vogels op Tule Lake en Lower Klamath Lake. De meesten van hen waren visetende soorten - reigers, pelikanen, futen, meeuwen.

Bij analyse bleken ze insecticide residuen te bevatten die geïdentificeerd werden als de gechloreerde koolwaterstoffen, toxafteen, DDD en DDE. Vissen uit de meren bleken ook de insecticideresten te bevatten; zo waren monsters van plankton. Het lijkt erop dat residuen van bestrijdingsmiddelen zich nu aan het opbouwen zijn in de wateren van deze schuilplaatsen, en daar naartoe worden getransporteerd door retour irrigatiestroom van zwaar bespoten landbouwgronden. De schuilplaatsen zijn van cruciaal belang voor het behoud van westerse watervogels. Ze liggen in een strook grondgebied die overeenkomt met de smalle hals van een trechter, waarin alle migratiepaden die samen de Pacific Flyway vormen samenkomen. Tijdens de herfstmigratie de drie schuilplaatsen ontvangen vele miljoenen eenden en ganzen, van nestplaatsen die zich uitstrekken van de oevers van de Beringzee in het oosten tot Hudson Bay - in feite volledig driekwart van alle watervogels die naar het zuiden in of door de Pacifische kuststaten trekken in herfst. Tijdens de zomer bieden de schuilplaatsen nestplaatsen voor watervogels, en vooral voor twee bedreigde soorten, de roodharige en de blozende eend. Als de meren en plassen van deze schuilplaatsen ernstig vervuild raken, kan de schade aan de watervogelpopulaties in het verre westen onherstelbaar **zijn**.

Water ondersteunt natuurlijk lange levensketens - van de klein-als-stof groene cellen van het drijvende plantenplankton, via de kleine watervlooiën, tot de vissen die plankton uit het water halen en op hun beurt worden opgegeten door andere vissen of door vogels, nertsen, wasberen en de mens zelf, in een eindeloze overdracht van materialen van leven naar leven. We weten dat de mineralen die nodig zijn voor al deze vormen van leven uit het water worden gehaald en van link naar link van de voedselketens worden doorgegeven. Kunnen we veronderstellen dat gifstoffen die we in water introduceren niet dezelfde weg zullen volgen? Het antwoord is te vinden in de recente geschiedenis van Clear Lake, Californië. Clear Lake ligt in het bergachtige land ongeveer negentig mijl ten noorden van San Francisco en is al lang populair bij vissers. De naam is duidelijk ongepast; eigenlijk is het meer nogal troebel, omdat de bodem, die ondiep is, is bedekt met zacht zwart slijk. Helaas voor de vissers en de bewoners van het resort aan de oevers, hebben de wateren lang een ideale habitat geboden voor een kleine mug, *Chaoborus astictopus*.

Hoewel de mug nauw verwant is aan muggen, is het geen bloedzuiger; inderdaad, het voedt waarschijnlijk helemaal **niet als een volwassene**. De mensen die zijn leefgebied kwamen delen, vonden het echter vervelend vanwege het grote aantal. Er werden pogingen ondernomen om het onder controle te houden, maar deze waren grotendeels vruchteloos totdat eind jaren veertig de gechloreerde koolwaterstofinsecticiden een nieuw wapen aanboden. De chemische stof die werd gekozen voor een nieuwe aanval was DDD, een insecticide dat blijkbaar minder bedreigingen voor het leven van vissen bood dan DDT. De nieuwe controlemaatregelen, genomen in september 1949, waren zorgvuldig gepland en weinig mensen zouden hebben verondersteld dat er schade zou kunnen ontstaan.

Het meer werd onderzocht, het volume ervan werd bepaald en het insecticide werd in een concentratie van één deel op elke zeventig miljoen delen water aangebracht. De controle over de muggen was aanvankelijk goed, maar tegen september 1954 moest de behandeling worden herhaald en deze keer werd de chemische stof toegevoegd in de concentratie van één deel in vijftig miljoen delen water. Men dacht dat de vernietiging van de muggen vrijwel voltooid was. De volgende wintermaanden brachten de eerste indruk dat ander leven werd beïnvloed; de westelijke futen op het meer begonnen te sterven, en al snel waren er meer dan honderd dood gemeld. Bij Clear Lake is de westelijke fuut een broedvogel en ook een winterbezoeker, aangetrokken door de overvloedige vis van het meer. Het is een vogel met een spectaculair uiterlijk en verleidelijke gewoonten, die drijvende nesten bouwt in ondiepe meren in het westen van de Verenigde Staten en het westen van Canada. Het wordt soms de 'zwanenfuut' genoemd, en met reden, want het glijdt nauwelijks met een rimpeling

over het oppervlak van het meer, zijn lichaam rijdt laag en zijn witte nek en glanzende zwarte kop worden hoog gehouden. Het pas uitgekomen kuiken is gekleed in zacht grijs dons; slechts een paar uur nadat hij uit de schelp is gekomen, gaat hij naar het water, rijdend op de rug van de vader of moeder, genesteld onder de vleugels van de ouderlijke vleugels.

Na een derde aanval op de immer veerkrachtige muggenpopulatie stierven in september 1957 - opnieuw in een concentratie van één deel DDD tot vijftig miljoen delen water - meer futen. Zowel toen als in 1954 kon bij onderzoek van de dode vogels geen bewijs van een besmettelijke ziekte worden ontdekt. Maar toen iemand dacht aan het analyseren van de vetweefsels van de futen, bleken ze te worden geladen met DDD in de buitengewone concentratie van zestienhonderd delen per miljoen. Hoe kon de chemische stof zich hebben opgebouwd tot zulke wonderbaarlijke niveaus? De futen zijn natuurlijk viseters. Toen de vissen van Clear Lake ook werden geanalyseerd, begon het beeld zich te vormen: het gif was opgepikt door de kleinste organismen, geconcentreerd en doorgegeven aan de grotere, die het verder hadden geconcentreerd. Plankton-organismen bleken ongeveer vijf delen per miljoen van het insecticide te bevatten; plankton-etende vissen hadden opeenhopingen opgebouwd variërend van veertig tot driehonderd delen per miljoen; vleesetende vissoorten hadden het meeste opgeslagen. Eén vis, een bruine bullhead, had de verbazingwekkende concentratie van vijfentwintig honderd delen per miljoen. Het was een huis-dat-door Jack gebouwde reeks, waarin de grote carnivoren de kleinere carnivoren hadden gegeten, die de herbivoren hadden gegeten, die het plankton hadden gegeten.

Nog meer buitengewone ontdekkingen werden later gedaan. Kort na de laatste toepassing van de chemische stof kon geen spoor van DDD in het water worden gevonden. Maar het gif had het meer niet echt verlaten; het was slechts in het weefsel van het leven gegaan dat het meer ondersteunde. Drieëntwintig maanden nadat de chemische behandeling was gestopt, bevatte het plankton nog steeds 5,3 delen ervan per miljoen. In die periode van bijna twee jaar waren opeenvolgende gewassen plankton gebloeid en vervaagd, maar het gif was op de een of andere manier van generatie op generatie overgegaan. En het leefde ook in het dierenleven van het meer. Alle vissen, vogels en kikkers die een jaar nadat de chemische toepassingen waren gestopt, hadden onderzocht, bevatten nog steeds DDD. De hoeveelheid gevonden in het vlees overtrof altijd vele malen de oorspronkelijke concentratie in het water. Meeuwen in Californië hadden concentraties van meer dan tweeduizend delen per miljoen opgebouwd. De futen droegen nog steeds zware residuen en ondertussen waren hun nestkolonies afgenomen, van meer dan duizend paren vóór de eerste behandeling met insecticiden tot ongeveer dertig paren in 1960. Zelfs de dertig lijken tevergeefs te hebben genest, want er zijn geen jonge futen waargenomen op het meer sinds de laatste DDD-applicatie. En hoe zit het met de mens die zijn visuitrusting heeft opgetuigd, een rij vissen uit de wateren van Clear Lake heeft gevangen en naar huis heeft gebracht om te eten voor het avondeten? Wat kan een zware dosis DDD - en misschien herhaalde zware doses - met hem doen? Het California State Department of Public Health beweerde geen gevaar te zien, maar in 1959 moest het gebruik van DDD in het meer worden gestopt. Gezien het bewijsmateriaal lijkt de actie een minimale veiligheidsmaatregel.

De dunne laag aarde die een fragmentarische bedekking over de continenten vormt, regelt ons eigen bestaan en dat van elk ander dier van het land. Zonder aarde zouden landplanten zoals wij die kennen niet kunnen groeien, en zonder planten zou geen dier kunnen overleven. Maar als ons leven van de grond afhangt, is het evenzeer waar dat grond van het leven afhangt; zijn oorsprong en het behoud van zijn ware aard zijn nauw verbonden met levende planten en dieren. Want aarde is gedeeltelijk een schepping van leven, geboren uit een geweldige interactie van leven en inerte materie eonen lang geleden. De moedermaterialen werden verzameld terwijl vulkanen ze in vurige stromen uitstortten, terwijl water dat over de kale rotsen van de continenten stroomde, zelfs het hardste graniet wegtrok en de beitels van vorst en ijs spleetten en de rotsen verbrijzelden. Toen begonnen levende dingen hun creatieve magie te werken, en beetje bij beetje werden deze inerte materialen bo-

dem. Lichens, de eerste bedekking van de rotsen, hielp het proces van desintegratie door middel van zure afscheidingen en vormde een verblijfplaats voor ander leven. Mossen grepen zich vast in deze kleine zakjes eenvoudige grond - grond gevormd door afbrokkelende stukjes korstmoss, door de kaf van het minuscule insectenleven, door het puin van een fauna die uit de zee tevoorschijn kwam. En niet alleen heeft het leven de bodem helpen vormen, maar er bestaan nu levende wezens in een ongelooflijke overvloed en diversiteit; als dit niet zo was, zou de grond dood en steriel zijn. De bodem bestaat in een staat van constante verandering en neemt deel aan cycli die geen begin en geen einde hebben. Nieuwe materialen worden voortdurend bijgedragen als gesteenten desintegreren, als organische materie verval, en als stikstof en andere gassen naar beneden worden gebracht in regen uit de lucht. Tegelijkertijd worden materialen weggehaald, tijdelijk geoogst voor gebruik door levende wezens. Subtiële en enorm belangrijke chemische veranderingen zijn constant aan de gang, waarbij elementen afkomstig van lucht en water worden omgezet in vormen die geschikt zijn voor de ondersteuning van het plantenleven, en in al deze veranderingen zijn levende organismen actieve agentia.

Er zijn maar weinig studies fascinerender en tegelijkertijd meer verwaarloosd dan de studie van de krioelende populaties die in de donkere rijken van de bodem bestaan. We weten te weinig van de verbanden die de bodemorganismen met elkaar verbinden, met hun wereld en met de wereld daarboven. Misschien zijn de meest essentiële organismen in de bodem de kleinste - de onzichtbare me-nigten bacteriën en draadachtige schimmels. Statistieken over hun overvloed nemen ons meteen mee naar astronomische cijfers. Een theelepels bovengrond kan miljarden bacteriën bevatten. Ondanks hun minieme grootte, kan het gecombineerde gewicht van bacteriën in de bovenste voet van een enkele hectare vruchtbare grond, die zelf van tien tot zeventien ton weegt, wel duizend pond zijn. Straalzwammen, groeiend in lange filamenten, zijn iets minder talrijk dan de bacteriën, maar omdat ze groter zijn, hun totale gewicht in een bepaalde hoeveelheid grond kan ongeveer hetzelfde zijn. Met kleine, groene algencellen vormen deze het microscopische plantenleven van de bodem. Bacteriën, schimmels en algen zijn de belangrijkste middelen van verval, waardoor planten- en dierenresten worden gereduceerd tot hun samenstellende materialen. De enorme cyclische bewegingen van chemische elementen, zoals koolstof en stikstof, door grond en lucht en levend weefsel konden niet doorgaan zonder deze microplants. Zonder de stikstofbindende bacteriën zouden planten bijvoorbeeld verhongeren door gebrek aan stikstof, hoewel ze omgeven zijn door stikstofhoudende lucht. Andere bodemorganismen vormen koolstofdioxide, dat bij oplossen in water koolzuur wordt en helpt bij het oplossen van gesteente. Nog andere bodemmicroben voeren de verschillende oxidaties en reducties uit waardoor mineralen zoals ijzer, mangaan, en zwavel worden getransformeerd en beschikbaar gesteld aan planten. Ook zijn er in enorme hoeveelheden in de bodem microscopische mijten en primitieve, vleugelloze insecten die springstaarten worden genoemd. Hoe klein ze ook zijn, beide spelen een belangrijke rol bij het afbreken van plantenresten en dragen zo bij aan de langzame omzetting van het strooisel van de bosbodem in de bodem. De specialisatie van sommige van deze kleine wezens voor hun taak is bijna ongelooflijk. Verschillende soorten mijten, bijvoorbeeld, kunnen het leven alleen beginnen met naalden die van een sparrenboom zijn gevallen.

Daar beschut, verteren ze de binnenste weefsels van de naald.

Tegen de tijd dat de mijten hun ontwikkeling hebben voltooid, blijft alleen de buitenste laag van cellen over. De echt vleugelloze insecten genoemd springstaarten. Hoe klein ze ook zijn, beide spelen een belangrijke rol bij het afbreken van plantenresten en dragen zo bij aan de langzame omzetting van het strooisel van de bosbodem in de bodem. De specialisatie van sommige van deze kleine wezens voor hun taak is bijna ongelooflijk. Verschillende soorten mijten, bijvoorbeeld, kunnen het leven alleen beginnen met naalden die van een sparrenboom zijn gevallen. Daar beschut, verteren ze de binnenste weefsels van de naald.

Tegen de tijd dat de mijten hun ontwikkeling hebben voltooid, blijft alleen de buitenste laag van cellen over.

De echt vleugelloze insecten genoemd springstaarten. Hoe klein ze ook zijn, beide spelen een belangrijke rol bij het afbreken van plantenresten en dragen zo bij aan de langzame omzetting van het strooisel van de bosbodem in de bodem. De specialisatie van sommige van deze kleine wezens voor hun taak is bijna ongelooflijk.

Verschillende soorten mijten, bijvoorbeeld, kunnen het leven alleen beginnen met naalden die van een sparrenboom zijn gevallen. Daar beschut, verteren ze de binnenste weefsels van de naald.

Tegen de tijd dat de mijten hun ontwikkeling hebben voltooid, blijft alleen de buitenste laag van cellen over.

De echteen duizelingwekkende taak om met de enorme hoeveelheid plantmateriaal in de jaarlijkse bladval om te gaan, behoort tot enkele van de kleine insecten van de bodem en de bosbodem. Ze macereren en verteren de bladeren en helpen de ontbonden materie te mengen met de oppervlaktebodem.

Naast al deze horde van minuutjes, maar onophoudelijk zwoegende wezens, zijn er natuurlijk veel grotere vormen, want het bodemleven loopt van bacteriën tot zoogdieren. Sommige van deze grotere vormen zijn permanente bewoners van de donkere, ondergrondse lagen; sommige overwinteren of brengen bepaalde delen van hun levenscyclus door in ondergrondse kamers; sommigen komen en gaan vrij tussen hun holen en de bovenwereld. Over het algemeen is het effect van al deze bewoning van de bodem om deze te beluchten en zowel de afvoer ervan als de penetratie van water door de lagen van de plantengroei te verbeteren. Van alle grotere bewoners van de bodem is waarschijnlijk niemand belangrijker dan de regenworm.

Iets meer dan driekwart eeuw geleden publiceerde Charles Darwin een boek getiteld 'The Formation of Vegetable Mold Through the Action of Worms, with Observations on their Habits.' Daarin gaf hij de wereld zijn eerste begrip van de fundamentele rol die regenwormen spelen als geologische agentia voor het transport van grond - een beeld van oppervlakte-rotsen die geleidelijk worden bedekt door fijne grond die van onderaf wordt opgevoed door de wormen, die de aarde in de bouw opnemen hopen en als voedsel en werp het uit in de buurt van het oppervlak in jaarlijkse hoeveelheden die lopen tot vele tonnen naar het acre in de meest gunstige gebieden. Tegelijkertijd trekken ze hoeveelheden organisch materiaal in bladeren en gras - maar liefst twintig pond naar de vierkante meter in zes maanden - naar de holen, waar ze een deel van de bodem worden.

Darwin's berekeningen toonden aan dat het zwoegen van regenwormen in een periode van tien jaar een laag aarde van een centimeter tot een centimeter dik zou kunnen produceren. Dit is lang niet alles wat ze doen. Hun hopen beluchten de grond, houden deze goed gedraineerd, en helpen de penetratie van plantenwortels. En organische materie wordt afgebroken als het door hun spijsverteringskanalen gaat, zodat de grond wordt verrijkt met hun uitscheidingsproducten.

?????

hetzij rechtstreeks geïntroduceerd als bodem "sterilisatiemiddelen" of gespoten op gewassen of gedragen door regen die een dodelijke besmetting heeft opgepikt terwijl het door de bladerdak van bos en boomgaard en akkerland werd gefilterd? Is het redelijk om te veronderstellen dat een zogenaamd breedspectrum insecticide de gravende larvenstadia van een gewasvernietigend insect kan doden zonder ook de insecten te doden waarvan de functie misschien de essentiële is om organische stof af te breken? Of kunnen we een niet-specifiek fungicide in boomgaarden gebruiken zonder ook de schimmels die de wortels van veel bomen bewonen te doden en de boom helpen bij het extraheren van voedingsstoffen uit de grond? De duidelijke waarheid is dat dit kritisch belangrijke onderwerp van de ecologie van de bodem grotendeels is verwaarloosd, zelfs door wetenschappers en bijna volledig genegeerd door controlepersonen. De chemische bestrijding van insecten lijkt te zijn doorgegaan in de veronderstelling dat de bodem elke hoeveelheid **belediging** zou kunnen en blijven zonder terug te slaan.

Uit de weinige studies die zijn gemaakt, ontstaat langzaam een beeld van de impact van pesticiden op de bodem. De studies zijn niet altijd in overeenstemming, want grondsoorten variëren enorm en wat schade veroorzaakt in de ene kan onschadelijk zijn in de andere. Lichte, zandige bodems lijden veel zwaarder dan humustypen, bijvoorbeeld, en combinaties van chemicaliën lijken vaak meer kwaad te doen dan afzonderlijke toepassingen. Ondanks de uiteenlopende resultaten, verzamelt zich voldoende solide bewijs van schade om bezorgdheid te veroorzaken bij de betrokken wetenschappers. er ontstaat langzaam een beeld van de impact van pesticiden op de bodem. De studies zijn niet altijd in overeenstemming, want grondsoorten variëren enorm en wat schade veroorzaakt in de ene kan onschadelijk zijn in de andere. Lichte, zandige bodems lijden veel zwaarder dan humustypen, bijvoorbeeld, en combinaties van chemicaliën lijken vaak meer kwaad te doen dan afzonderlijke toepassingen. Ondanks de uiteenlopende resultaten, verzamelt zich voldoende solide bewijs van schade om bezorgdheid te veroorzaken bij de betrokken wetenschappers.

Onder sommige omstandigheden worden de chemische omzettingen en transformaties die in het hart van de levende wereld liggen, beïnvloed. Het herbicide 2,4-D veroorzaakt bijvoorbeeld een tijdelijke onderbreking van de nitrificatie. Recente experimenten in Florida hebben aangetoond dat drie gechloreerde koolwaterstoffen - heptachloor, BHC (benzeenhexachloride) en lindaan, een isomeer van BHC - de nitrificatie al na slechts twee weken in de bodem verminderde; BHC en DDT hadden een aanzienlijk nadelig effect een jaar na de behandeling. In andere experimenten werd gevonden dat BHC, lindaan, aldrin, heptachloor en DDD allemaal voorkwamen dat stikstofbindende bacteriën de nodige wortelknobbels op peulvruchten vormden, en ook dat een nieuwsgierige maar gunstige relatie tussen schimmels en de wortels van hogere planten was ernstig verstoord. Soms is het probleem er een van het verstoren van dat delicate evenwicht van populaties waardoor de natuur verreikende doelen bereikt. Explosieve toenames bij bepaalde soorten bodemorganismen hebben plaatsgevonden wanneer andere soorten zijn verminderd door insecticiden, waardoor de relatie tussen roofdier en prooi verstoord is. Dergelijke veranderingen kunnen gemakkelijk de metabolische activiteit van de bodem veranderen en de productiviteit beïnvloeden. Ze kunnen ook betekenen dat potentieel schadelijke organismen, voorheen onder controle gehouden, de status van ongedierte kunnen aannemen.

Een van de belangrijkste dingen om te onthouden over insecticiden in de bodem is hun persistentie. Aldrin is na vier jaar teruggevonden, zowel als sporen en, meer overvloedig, als omgezet in dieldrin. Tien jaar na het aanbrengen van toxaphene op zandgrond blijft er voldoende over om termieten te doden. BHC duurt minstens elf jaar en heptachlor minstens negen. Chlordane is na twaalf jaar hersteld. Schijnbaar gematigde toepassingen van insecticiden gedurende een periode van jaren kunnen fantastische hoeveelheden in de bodem opbouwen. De legende dat "een pond DDT per acre onschadelijk is" betekent niets als het spuiten wordt herhaald. Aardappelgronden blijken tot vijftien

pond DDT per hectare te bevatten, maisgronden tot negentien. Een cranberry moeras in onderzoek bevatte vierendertig en een half pond aan de hectare. Bodems van appelboomgaarden lijken de piek van vervuiling te bereiken, want de snelheid waarmee DDT zich hier ophoopt, houdt bijna gelijke tred met de snelheid van de jaarlijkse toepassing. In een enkel seizoen, als boomgaarden vier of meer keer worden gespoten, kunnen DDT-residuen oplopen tot vijftig pond per hectare. Arseen biedt een klassiek voorbeeld van de vrijwel permanente vergiftiging van de bodem. Hoewel arsenicum sinds het midden van de jaren veertig als een spray op tabaksteelt grotendeels is vervangen door synthetische insecticiden, het arseengehalte van sigaretten gemaakt van Amerikaanse tabak is tussen de jaren 1932 en 1962 met meer dan driehonderd procent toegenomen. Dr. Henry S. Satterlee, een autoriteit op het gebied van arseen-toxicologie, zegt dat de bodems van tabaksplantages nu grondig geïmpregneerd zijn met arseenresten in de vorm van een zwaar en relatief onoplosbaar gif, arsenaat van lood.

Dit zal arseen in oplosbare vorm blijven afgeven. Zoals Dr. Satterlee het uitdrukt, is de bodem van een groot deel van het met tabak beplante land onderworpen aan "cumulatieve en bijna permanente vergiftiging." Tabak geteeld in de oostelijke mediterrane landen, waar arseeninsecticiden niet worden gebruikt, heeft aangetoond geen dergelijke toename van arseengehalte. Satterlee, een autoriteit op het gebied van arseen-toxicologie, zegt dat de bodems van tabaksplantages nu grondig zijn geïmpregneerd met arseenresten in de vorm van een zwaar en relatief onoplosbaar gif, arsenaat van lood.

De vraag rijst in hoeverre insecticiden worden geabsorbeerd in plantenweefsels van verontreinigde bodems. Veel hangt af van het type grond, het gewas en de aard en de concentratie van het insecticide. Bodems met een hoog organisch gehalte geven kleinere hoeveelheden gif af dan andere. Wortels absorberen meer insecticide dan enig ander bestudeerd gewas; als het gebruikte insecticide linaan is, accumuleren wortelen in feite hogere concentraties dan in de bodem aanwezig zijn. In de toekomst kan het nodig zijn om bodems op insecticiden te analyseren voordat bepaalde voedselgewassen worden geplant. Anders kunnen onbespoten gewassen voldoende insecticide uit de grond opnemen om ze ongeschikt te maken voor de markt. Deze soort vervuiling heeft al eindeloze problemen veroorzaakt voor ten minste één toonaangevende fabrikant van babyvoeding, die niet bereid is fruit of groenten te kopen die zijn blootgesteld aan insecticiden.

De chemische stof die hem de meeste problemen bezorgde, was BHC, dat wordt opgenomen door de wortels en knollen van planten en dat zijn aanwezigheid ademt door een muffe smaak en geur. Zoete aardappelen geteeld in velden in Californië waar BHC twee jaar eerder was gebruikt, bevatten residuen en het bedrijf moest ze afwijzen. Nog een jaar, waarin het bedrijf voor zijn totale behoefte aan zoete aardappelen met telers in South Carolina had gecontracteerd, bleek een zo groot deel van het areaal besmet te zijn dat het bedrijf gedwongen was om te kopen op de open markt, tegen een aanzienlijke financiële verlies. Het meest hardnekkige probleem van de fabrikant is met pinda's. In de zuidelijke staten worden pinda's meestal in rotatie gekweekt met katoen, waarop BHC uitgebreid wordt gebruikt, en de pinda's nemen aanzienlijke hoeveelheden insecticide op. Eigenlijk is slechts een spoor genoeg om hen de veelbetekenende muffe geur en smaak te geven. De chemische stof dringt door de noten en kan niet worden verwijderd.

Soms is de dreiging voor het gewas zelf - een bedreiging die net zo lang duurt als de besmetting met insecticiden in de bodem. Sommige insecticiden beïnvloeden gevoelige planten zoals bonen, tarwe, gerst en rogge, vertragen de wortelontwikkeling of remmen de groei van zaailingen. De ervaring van de hoptelers in Washington en Idaho is een voorbeeld. In het voorjaar van 1955 ondernamen veel van deze telers een grootschalig programma om de aardbeikever te beheersen, waarvan de larven overvloedig op de wortels van de hop waren geworden. Op advies van landbouwdeskundigen en fabrikanten van insecticiden kozen ze heptachlor om het werk te doen. Binnen een jaar nadat de

heptachloor was aangebracht, in zowel stof- als sproeivormen, verwelken en stierven de wijnstokken in de behandelde werven. In de onbehandelde velden was er geen probleem; in feite, de schade stopte op de grens tussen behandelde en onbehandelde velden. De velden werden opnieuw geplant, tegen hoge kosten, maar het jaar daarop bleken ook de nieuwe wortels dood te zijn. Vier jaar later bevatte de grond nog heptachloor, en wetenschappers konden niet voorspellen hoe lang het giftig zou blijven of een procedure aanbevelen om de toestand te corrigeren.

Het ministerie van Landbouw van de Verenigde Staten, dat al in maart 1959 heptachlor aanvaardbaar had verklaard voor gebruik op hop in de vorm van een grondbehandeling, trok daarna zijn registratie voor dergelijk gebruik te laat in. Ondertussen zochten de hoptelers naar verhaal voor de rechtbank. en wetenschappers konden niet voorspellen hoe lang het giftig zou blijven of een procedure aanbevelen om de aandoening te corrigeren.

Als we de grond blijven verontreinigen, zijn we vrijwel zeker op weg naar problemen. Dit was de consensus van een groep specialisten die in 1960 bijeenkwamen aan het College of Forestry van de State University in New York, in Syracuse, om de ecologie van de bodem te bespreken. Deze mannen vatten de gevaren samen van het gebruik van "zulke krachtige en weinig begrepen hulpmiddelen" als chemicaliën en radioactieve stoffen: "Een paar valse bewegingen van de kant van de mens kunnen leiden tot vernietiging van de bodemproductiviteit en de geleedpotigen kunnen het goed overnemen."

Water, aarde en de aardegroene mantel van planten vormen de wereld die het dierenleven van de aarde ondersteunt. Hoewel de moderne mens zich dit feit zelden herinnert, zou hij niet kunnen bestaan zonder de planten die de energie van de zon benutten en de basisvoedingsmiddelen produceren waarvan hij voor het leven afhankelijk is. Onze houding ten opzichte van planten is bijzonder smal. Als we onmiddellijk nut in een plant zien, bevorderen we het. Als we, om welke reden dan ook, de aanwezigheid ervan ongewenst vinden, of zelfs gewoon een kwestie van onverschilligheid, kunnen we het onmiddellijk tot vernietiging veroordelen. Afgezien van de verschillende planten die giftig zijn voor de mens of zijn vee, of voedselplanten verdringen, zijn velen gemarkeerd voor vernietiging alleen omdat ze zich op het verkeerde moment op de verkeerde plaats bevinden, en vele anderen worden alleen vernietigd omdat ze toevallig medewerkers van de ongewenste planten.

Een voorbeeld van ons ondenkbare bludgeoning van het landschap is te zien in het alsemland van het Westen, waar een uitgebreide campagne is gestart om de salie te vernietigen en gras te vervangen. Als ooit een onderneming moest worden verlicht met een gevoel van de geschiedenis en de betekenis van het landschap, dan is het deze. Want hier is het natuurlijke landschap welsprekend van het samenspel van krachten die het hebben gecreëerd. Het wordt voor ons verspreid als de pagina's van een open boek en vertelt waarom het land is wat het is en waarom we de integriteit ervan moeten behouden. Maar de pagina's liggen ongelezen. Het land van de wijze is het land van de hoge westelijke vlakten en de lagere hellingen van de bergen die boven hen uitsteken - een land geboren uit de opheffing van het Rocky Mountain-systeem vele miljoenen jaren geleden. Het is een plaats met extreme klimaatomstandigheden: van lange winters wanneer sneeuwstormen naar beneden rijden uit de bergen en de sneeuw dik op de vlaktes ligt, van zomers waarvan de hitte alleen wordt verlicht door schrale regen, met droogte die diep in de grond bijt, en droge winden die vocht stelen van blad en stengel. In de evolutie van dit landschap moet er een lange periode van vallen en opstaan zijn geweest, terwijl planten de kolonisatie probeerden van het hoge en door de wind geveegde land. De een na de ander moet hebben gefaald. Eindelijk heeft een groep planten wortel geschoten die alle kwaliteiten combineerde die nodig zijn om te overleven. De wijze - laaggroeiend en struikgewas - kon zijn greep houden op de berghellingen en op de vlakten, en binnen zijn kleine grijze bladeren kon hij voldoende vocht opslaan om de stelende wind te trotseren. Het was geen on-

geluk, maar eerder.

Samen met de planten evolueerde het dierenleven in harmonie met de zoekbehoeften van het land. Na verloop van tijd waren er twee dieren even goed aangepast aan hun leefgebied als de wijze. De ene was een zoogdier, de vloot en sierlijke Gaffelbok antilope. De andere was een vogel, het wijze hoen - de 'haan van de vlaktes' van Lewis en Clark. De wijze en het korhoen lijken voor elkaar gemaakt. Het bereik van de vogel valt samen met het bereik van de salie, en de salie is alles voor deze vogels van de vlakte. De lage wijze van de uitlopers beschermt hun nesten en hun jongen; de dichtere gezwollen zijn loaf- en rustgebieden; te allen tijde levert de salie het basisvoedsel van het korhoen. Toch is het een tweerichtingsrelatie. De spectaculaire verkeringshows van de hanen helpen de grond onder en rond de salie los te maken, helpen invasie door grassen die kunnen groeien in de beschutting van de alsem. Ook de antilope heeft hun leven aangepast aan de wijze. Hoewel sommigen van hen zomer in de bergen zijn, zijn ze voornamelijk dieren van de vlakte, en in de winter, wanneer de eerste sneeuw komt, zoeken ze allemaal naar de lagere hoogten. Daar geeft de wijze het voedsel dat hen gedurende de winter getijden. Waar alle andere planten hun bladeren hebben afgeworpen, houden de grijsgroene bladeren van de salie - bitter, aromatisch, rijk aan eiwitten, vetten en benodigde mineralen - vast aan de stengels van de dicht groeiende planten. Hoewel de sneeuw zich ophoopt, blijven de toppen van de wijze bloot, of kunnen worden bereikt door de scherpe, klauwen-de hoeven van de antilope. Voer vervolgens ook korhoenders ze op, vind ze op kale en winderige richels of volg de antilope naar plekken waar ze de sneeuw hebben weggekrast. Ander leven kijkt ook naar de wijze. Muilezelherten voeden zich er vaak mee. Salie kan overleving betekenen voor vee dat in de winter graast. Schapen grazen vele winterbereiken waar de grote wijze borstel bijna pure staat vormt. Een half jaar lang is het hun belangrijkste voer en het is een plant met een hogere energiewaarde dan zelfs alfalfahooi.

De hoogvlaktes, de paarse woestenij van salie, de wilde, snelle antilope en het korhoen zijn dan een natuurlijk systeem in perfecte balans. Of liever, op veel plaatsen was er zo'n evenwicht. In de afgelopen jaren hebben de agentschappen voor landbeheer geprobeerd de onverzadigbare eisen van de veehouders voor meer graasland te bevredigen. Hiermee bedoelen ze grasland - gras zonder salie. Weinig lijkt te hebben gevraagd of grasland een stabiel en wenselijk doel in de regio is. Het antwoord van de natuur was zeker nee. De jaarlijkse neerslag in dit land is niet voldoende om goed zode vormend gras te ondersteunen; het is eerder een voorstander van het bosgras dat groeit in de beschutting van de wijze. Toch worden elk jaar miljoenen hectaren alsemeland besproeid. Wat zijn de resultaten? De langetermijneffecten van het elimineren van salie en het zaaien met gras zijn grotendeels conjecturaal. Mannen met een lange ervaring op het gebied van het land zeggen dat er in dit land een betere groei van gras is tussen en onder de vochthoudende salie dan mogelijk is in pure tribunes. Maar zelfs als het programma slaagt in zijn directe doelstelling, is het duidelijk dat het hele hechte weefsel van het leven uit elkaar wordt gerukt. De antilope en het korhoen zullen samen met de salie verdwijnen. Zelfs het vee, dat de beoogde begunstigden zijn, zal lijden; geen hoeveelheid weelderig groen gras in de zomer kan de schapen helpen verhongeren in de winterstormen door gebrek aan salie en bittere borstel en andere wilde vegetatie van de vlaktes. Dit zijn de eerste en voor de hand liggende effecten. Anderen zijn van het soort dat altijd wordt geassocieerd met de jachtgeweerbenadering van de natuur: het sproeien elimineert ook een groot aantal planten die niet het beoogde doelwit waren. Justitie William O. Douglas heeft in zijn recente boek 'My Wilderness: East to Katahdin' verteld over een voorbeeld van ecologische vernietiging door de Forest Service in het Bridger National Forest in Wyoming. Onder de druk van veehouders voor meer grasland, sproeide de dienst ongeveer tienduizend hectare salie. De wijze werd gedood, zoals was bedoeld.

Maar zo was een green, levengevend lint van wilgen dat zich een weg baant over deze vlaktes, de meanderende stromen volgend. Eland had in deze wilgenstruiken gewoond, want wilg is voor de

eland wat salie is voor de antilope. Bevers hadden daar ook gewoond, zich gevoed met de wilgen, ze geveld en sterke dammen gemaakt over de kleine stroompjes. Door het werk van de bevers liep een meer achteruit. Forel in de bergstromen was zelden meer dan zes centimeter lang; in het meer bloeiden ze zo wonderbaarlijk dat velen tot vijf pond groeiden. Watervogels werden aangetrokken door het meer. Maar met de 'verbetering' die door de Forest Service was ingesteld, gingen de wilgen de weg van de alsem, gedood door dezelfde, onpartijdige spray. Toen Justice Douglas het gebied in 1959, het jaar van het spuiten, bezocht, was hij geschokt toen hij de verschrompelde en stervende wilgen zag - de 'enorme, ongelooflijke schade. 'Wat zou er van de eland worden? Van de bevers en de kleine wereld die ze hadden gebouwd? Een jaar later keerde hij terug om de antwoorden in het verwoeste landschap te lezen. De elanden waren weg, evenals de bevers. De belangrijkste beverdam was door gebrek aan aandacht van zijn bekwame architecten uitgegaan en het meer was weggelopen. Geen van de grote forellen was over, want niemand kon in de kleine kreek die overbleef, zich een weg banen door een kaal, heet land.

Afgezien van de meer dan vier miljoen hectare grote landerijen die elk jaar worden bespoten, zijn grote gebieden van andere soorten land potentiële of feitelijke ontvangers van chemische behandelingen voor onkruidbestrijding. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld, wordt een gebied groter dan heel New England - zo'n vijftig miljoen hectare - beheerd door nutsbedrijven, en een groot deel ervan wordt routinematig behandeld voor 'borstelbesturing'. In het zuidwesten worden naar schatting vijf miljoen hectare land van Mesquite vereist op de een of andere manier beheer, en chemisch spuiten is de meest actieve methode. Een onbekend maar zeer groot areaal van houtproducerende landen wordt nu luchtig gespreeid met als doel het hardhout uit de meer nevelbestendige coniferen te "wieden". Hieraan toegevoegd zijn naar schatting drieënvijftig miljoen hectare landbouwgrond, misschien twee miljoen hectare niet-akkerland, en talloze privégazons, parken en golfbanen, waarvan het gecombineerde areaal een extreem groot aantal moet bereiken. En naast dit alles zijn er onze bermten.

Borstelbesturing langs de weg wordt in alle delen van het land toegepast, met als doel planten te elimineren die uiteindelijk groot genoeg worden om het zicht van de bestuurder te belemmeren of om draden op doorgangsrechten te verstoren. Dit is een legitiem object, maar aangezien het spuiten langs de weg gewoonlijk wordt uitgevoerd, heeft dit veel ongewenste bijwerkingen. Een daarvan is economisch. De stadsvaders van duizend gemeenschappen lenen gewillige oren aan de chemische verkopers en de enthousiaste aannemers die hun bermten van "borstel" zullen ontdoen. Spuiten is, zo wordt verteld, goedkoper dan maaien. Dus misschien verschijnt het in de nette rijen cijfers in de officiële boeken, maar als de werkelijke kosten werden ingevoerd, zou de groothandel in chemicaliën veel duurder zijn, zowel in dollars als in de oneindige schade die het veroorzaakt. Neem bijvoorbeeld, een handelswaar die door elke kamer van koophandel in het hele land wordt gewaardeerd - de goede wil van vakantiegangers. Er is een gestaag groeiend koor van woedend protest tegen de misvorming van eens prachtige bermten door chemische sprays. "We maken een vuile, bruine, stervende uitzienende puinhoop langs de zijkanten van onze wegen," schreef een vrouw uit New England boos aan haar plaatselijke krant afgelopen herfst. "Dit is niet wat de toeristen verwachten, met al het geld dat we uitgeven aan reclame voor het prachtige landschap." In de zomervan 1960 kwamen natuurbeschermers uit vele staten samen op een prachtig eiland in Maine om getuige te zijn van zijn presentatie aan de National Audubon Society door de eigenaar, Millicent Todd Bingham. Die dag lag de nadruk op het behoud van het natuurlijke landschap, met zijn ingewikkelde levensweb, waarvan de ingeweven strengen van microbe naar mens leiden. Maar op de achtergrond van alle gesprekken tussen de bezoekers van het eiland was verontwaardiging over de vernietiging van de wegen die ze hadden afgelegd om het te bereiken. Ooit was het een genot geweest om die wegen door de altijd groene bossen te volgen - wegen omzoomd met bayberry en zoete varen, els en huckleberry. Nu was alles bruine verlatenheid. Een van de natuurbeschermers schreef over die zomerbede-

vaart: 'Ik ben teruggekomen. . . boos op de ontheiliging van de bermen van Maine. Waar in voorgaande jaren de snelwegen waren omzoomd met wilde bloemen en aantrekkelijke struiken, er waren alleen de littekens van dode vegetatie mijl na mijl. . . Kan Maine zich als economisch voorstel het verlies van de goede wil van toeristen veroorloven dat dergelijke bezienswaardigheden veroorzaken? '

Botanici van het Connecticut Arboretum in New London verklaren dat de eliminatie van prachtige inheemse struiken en wilde bloemen de proporties van een "bermcrisis" heeft bereikt. Azalea's, laurier, bosbessen, viburnum, kornoelje, hayberry, zoete varen, low shadbush, winterberry, chokecherry en wilde pruimen sterven onder het chemische spervuur. Dat geldt ook voor de madeliefjes, de zwartogige Susans, het kant van de koningin Anne, de guldenroede en de herfstapen. In het voorjaar van 1957 raakten bomen in het Connecticut Arboretum Natural Area ernstig gewond toen de stad Waterford de bermen besproeide met chemische onkruidverdelgers. Zelfs grote bomen die niet direct werden bespoten, werden aangetast. De bladeren van de eiken begonnen te krullen en bruin te worden, hoewel het het seizoen was voor de lentegroei. Toen verschenen nieuwe scheuten en deze groeiden met abnormale snelheid, waardoor de bomen een "huilend" uiterlijk krijgen. Twee seizoenen later waren grote takken aan sommige van deze bomen gestorven, andere takken waren zonder bladeren en het vervormde, huilende effect van hele bomen bleef bestaan.

Ik ken een stuk weg waar het eigen landschap van de natuur ooit een grens vormde van els, viburnum, zoete varen en jeneverbes, met seizoensgebonden wisselende accenten van heldere bloemen en vruchten die in de herfst in juwelenclusters hangen. De weg had geen zware lading verkeer en er waren weinig scherpe bochten of kruispunten waar borstel het zicht van de bestuurder kon belemmeren. Desondanks namen de sproeiers het over en de kilometers langs die weg werden iets om snel te doorkruisen, een gezicht om te verdragen met een geest gesloten voor gedachten aan de steriele en afschuwelijke wereld die we onze technici laten maken. Hier en daar was het gezag echter wankel en door een onverklaarbaar toezicht waren er oases van schoonheid - oases die de ontheiliging van het grootste deel van de weg ondraaglijker maakten. Op dergelijke plaatsen mijn geest verhief zich tot de aanblik van de verschuivingen van witte klaver of de wolken van paarse wikke, met hier en daar de vlammeende kom van een houtlelie. Dergelijke planten zijn 'onkruid' alleen voor diegenen die zich bezighouden met het verkopen en toepassen van onkruidverdelgers.

De wens om onze bermvegetatie te behouden is natuurlijk meer dan esthetische overwegingen. In de economie van de natuur heeft de natuurlijke vegetatie zijn essentiële plaats. Hagen langs landwegen en de randen van velden bieden voedsel, dekking en nestgebieden voor vogels en huizen voor veel kleine dieren; van ongeveer zeventig soorten struiken en wijnstokken die typische soorten langs de weg zijn, zijn ongeveer vijfenzeftig belangrijk voor dieren in het wild als voedsel. Dergelijke vegetatie is ook het leefgebied van wilde bijen en andere bestuivende insecten. De mens is afhankelijker van deze wilde bestuivers dan hij zich meestal realiseert. Zelfs de boer begrijpt zelden de waarde van wilde bijen en neemt vaak deel aan maatregelen die hem van hun diensten beroven. Niet alleen veel wilde planten, maar sommige landbouwgewassen zijn geheel of gedeeltelijk afhankelijk van de diensten van de inheemse bestuivende insecten; honderden soorten wilde bijen nemen deel aan de bestuiving van gecultiveerde gewassen - honderd soorten bezoeken alleen de bloemen van alfalfa. Bovendien zouden bij afwezigheid van bestuiving door insecten de meeste bodemhoudende en bodemverrijkende planten in onbebouwde gebieden uitsterven, met verstreckende gevolgen voor de ecologie van de hele regio. Een grote verscheidenheid aan kruiden, struiken en bomen in onze bossen en verspreidingsgebieden zijn voor hun voortplanting afhankelijk van inheemse insecten, en zonder deze planten zouden veel wilde dieren en veel grote soorten weinig voedsel vinden. Nu 'schone' teelt en het chemisch sproeien van hagen en onkruid, inclusief sommige van die waar bijen voor voedsel sterk afhankelijk van zijn, elimineren de laatste heiligdommen van deze be-

stuivende insecten en breken daarmee de draden die leven aan leven binden. De bijen, zo essentieel voor onze landbouw en zelfs voor ons landschap zoals we het kennen, verdienen iets beters van ons dan de zinloze vernietiging van hun habitat.

Ironisch genoeg bestendigt de totale chemische aanval de problemen die het probeert te verhelpen. Ragweed, de vloek van hooikoortspatiënten, biedt een interessant voorbeeld van de manier waarop pogingen om de natuur te beheersen soms boemerang zijn. Vele duizenden liters chemicaliën zijn langs bermen geloosd in de naam van ambrosiabestrijding, maar de ongelukkige waarheid is dat sproeien met een deken resulteert in meer ambrosia, niet minder. Ragweed is een jaarlijks; elk jaar hebben de zaailingen open grond nodig om zich te vestigen. Onze beste bescherming hiertegenplant is daarom het onderhoud van dichte struiken en varens en andere overblijvende vegetatie. Spuiten vernietigt deze beschermende vegetatie en creëert open, dorre gebieden, die de ambrosia zich haast om te vullen.

Net zo ironisch, sommige sproeien creëert eigenlijk nieuwe problemen. De chemische 2,4-D, door de breedbladige planten te doden, laat de grassen gedijen, en nu zijn sommige van de grassen zelf "onkruid" geworden, wat een nieuw probleem van controle oplevert en de cyclus een andere wending geeft. Deze situatie wordt erkend in een recent nummer van een technisch tijdschrift over gewasproblemen, waarin wordt opgemerkt dat "met het wijdverbreide gebruik van 2,4-D om breedbladige onkruiden te bestrijden, vooral grasonkruiden steeds meer een bedreiging voor maïs en soja geeft op."

We blijven bij deze inefficiënte aanpak, ondanks het feit dat er een perfect degelijke methode van selectief sproeien bekend is, die een langdurige vegetatiecontrole kan bereiken en herhaald sproeien van de meeste soorten vegetatie kan elimineren. Selectief spuiten is ontwikkeld door Dr. Frank Egler, een plant-ecoloog die enkele jaren verbonden was aan het American Museum of Natural History en die voorzitter is van een commissie voor borstelbeheersingsaanbevelingen voor rechten van doorgang. De methode die hij bedacht maakt gebruik van het feit dat de beste en goedkoopste controles voor vegetatie geen chemicaliën zijn, maar andere planten. Bomen vinden het moeilijk om voet aan de grond te krijgen in een gemeenschap van struiken, en langs de weg zijn de meeste struiken, en alle varens en wilde bloemen, laag genoeg om geen gevaar voor bestuurders te vormen en geen belemmering voor draden. Selectief spuiten, in tegenstelling tot het spuiten van dekens, is alleen gericht op bomen en uitzonderlijk hoge struiken, waarbij het gif aan de basis wordt aangebracht. (Het kappen van een boom is zelden een permanente oplossing, omdat veel bomen weer zullen groeien.) Een spray kan voldoende zijn om dergelijke bomen en struiken te elimineren, met een mogelijke opvolging voor extreem resistente soorten; daarna oefenen de struiken controle uit en keren de bomen niet terug. Dr. Egler heeft onder observatie struikgemeenschappen die stabiel zijn gebleven, zonder terugkeer van bomen, gedurende een kwart eeuw na selectief spuiten. Het spuiten kan vaak worden gedaan door mannen te voet, met knapzaksproeiers, die hen volledige controle over hun materiaal geven. Soms kunnen tanks en compressorpompen op vrachtwagenchassis worden gemonteerd, maar er is nog steeds geen spuitdeken. De integriteit van de omgeving blijft hierdoor behouden, de enorme waarde van het leefmilieuhabitat blijft intact en de schoonheid van struiken en varens en de rest van de groei langs de weg is niet opgeofferd. De methode van vegetatiebeheer door selectief spuiten is door de autoriteiten in sommige gebieden overgenomen. Alle andere overwegingen terzijde, wanneer meer belastingbetalers begrijpen dat de rekening voor het spuiten van de stadswegen slechts eenmaal per generatie in plaats van eenmaal per jaar zou moeten komen, zullen ze zeker opstaan en een verandering van methode eisen.

De chemische bestrijdingsmiddelen zijn een helder nieuw speelgoed. Ze werken soms op een spectaculaire manier en geven degenen die hen hanteren een duizelig gevoel van macht over de natuur,

en wat betreft de mislukkingen en de ongewenste effecten op lange termijn, deze worden afgedaan als de ongegronde verbeelding van pessimisten. Zonder rekening te houden met het hele record van besmetting en dood, blijven we spuiten en zonder onderscheid te spuiten. We gaan verder alsof er geen alternatief was, ook al zijn er alternatieven, zoals biologische controles en selectief spuiten, die op veel plaatsen effectief zijn geweest. Zoals dr. CJ Briejër, een Nederlandse wetenschapper met een zeldzaam begrip, heeft gezegd: "We wandelen in de natuur als een olifant in de porseleinkast."

(Dit is de eerste van een reeks van drie artikelen.)

Dit artikel verschijnt in de gedrukte editie van het nummer van 16 juni 1962.

Rachel Carson is de auteur van de bestseller "Silent Spring" en "The Sea Around Us", die de National Book Award voor non-fictie heeft gewonnen. Ze kreeg postuum de Presidentiële Medaille van Vrijheid in 1980.

(Opmerking: in de vertaalde versie zaten meerdere dubbele tekstdelen, vermoedelijk ook in deze onderstaande Engelse – oorspronkelijke – versie....)

Silent Spring part-I

There was once a town in the heart of America where all life seemed to be in harmony with its surroundings. The town lay in the midst of a checkerboard of prosperous farms, with fields of grain and hillsides of orchards, where white clouds of bloom drifted above the green land. In autumn, oak and maple and birch set up a blaze of color that flamed and flickered across a backdrop of pines. Then foxes barked in the hills and deer crossed the fields, half hidden in the mists of the mornings. Along the roads, laurel, viburnum, and alder, great ferns and wild flowers delighted the traveller's eye through much of the year. Even in winter, the roadsides were places of beauty, where countless birds came to feed on the berries and on the seed heads of the dried weeds rising above the snow. The countryside was, in fact, famous for the abundance and variety of its bird life, and when the flood of migrants was pouring through in spring and fall, people came from great distances to observe them. Other people came to fish streams, which flowed clear and cold out of the hills and contained shady pools where trout lay. So it had been from the days, many years ago, when the first settlers raised their houses, sank their wells, and built their barns.

Then, one spring, a strange blight crept over the area, and everything began to change. Some evil spell had settled on the community; mysterious maladies swept the flocks of chickens, and the cattle and sheep sickened and died. Everywhere was the shadow of death. The farmers told of much illness among their families. In the town, the doctors were becoming more and more puzzled by new kinds of sickness that had appeared among their patients. There had been several sudden and unexplained deaths, not only among the adults but also among the children, who would be stricken while they were at play, and would die within a few hours. And there was a strange stillness. The birds, for example—where had they gone? Many people, baffled and disturbed, spoke of them. The feeding stations in the back yards were deserted. The few birds to be seen anywhere were moribund; they trembled violently and could not fly. It was a spring without voices. In the mornings, which had once throbbed with the dawn chorus of robins, catbirds, doves, jays, and wrens, and scores of other bird voices, there was now no sound; only silence lay over the fields and woods and marshes. On the farms, the hens brooded but no chicks hatched. The farmers complained that they were unable to raise any pigs; the litters were small, and the young survived only a few days. The apple trees were coming into bloom, but no bees droned among the blossoms, so there was no pollination and there would be no fruit. The roadsides were lined with brown and withered vegetation, and were silent, too, deserted by all living things. Even the streams were lifeless. Anglers no longer visited them, for all the fish had died. In the gutters under the eaves, and between the shingles of the roofs, a few patches of white granular powder could be seen; some weeks earlier this powder had been dropped, like snow, upon the roofs and the lawns, the fields and the streams. No witchcraft, no enemy action had snuffed out life in this stricken world. The people had done it themselves.

This town does not actually exist; I know of no community that has experienced all the misfortunes I describe. Yet every one of them has actually happened somewhere in the world, and many communities have already suffered a substantial number of them. A grim spectre has crept upon us almost unnoticed, and soon my imaginary town may have thousands of real counterparts. What is silencing the voices of spring in countless towns in America? I shall make an attempt to explain.

The history of life on earth is a history of the interaction of living things and their surroundings. To an overwhelming extent, the physical form and the habits of the earth's vegetation and its animal life have been molded and directed by the environment. Over the whole span of earthly time, the opposite effect, in which life modifies its surroundings, has been relatively slight. It is only within the moment of time represented by the twentieth century that one species—man—has acquired significant power to alter the nature of his world, and it is only within the past twenty-five years that this power has achieved such magnitude that it endangers the whole earth and its life. The most alarming of all man's assaults upon the environment is the contamination of the air, earth, rivers, and seas with dangerous, and even lethal, materials. This pollution has rapidly become almost universal, and it is for the most part irrecoverable; the chain of evil it initiates, not only in the world that must support life but in living tissues, is for the most part irreversible. It is widely known that radiation has done much to change the very nature of the world, the very nature of its life; strontium 90, released into the air through nuclear explosions, comes to earth in rain or drifts down as fallout, lodges in soil, enters into the grass or corn or wheat grown there, and, in time, takes up its abode in the bones of a human being, there to remain until his death. It is less well known that many man-made chemicals act in much the same way as radiation; they lie long in the soil, and enter into living organisms, passing from one to another. Or they may travel mysteriously by underground streams, emerging to combine, through the alchemy of air and sunlight, into new forms, which kill vegetation, sicken cattle, and work unknown harm on those who drink from once pure wells. As Albert Schweitzer has said, "Man can hardly even recognize the devils of his own creation." It took hundreds of millions of years to produce the life that now inhabits the earth—aeons of time, in which that developing and evolving and diversifying life reached a state of adjustment to its surroundings. To be sure, the environment, rigorously shaping and directing the life it supported, contained hostile elements. Certain rocks gave out dangerous radiation; even within the light of the sun, from which all life draws its energy, there were short-wave radiations with power to injure. But given time—time not in years but in millennia—life adjusted, and a balance was reached. Time was the essential ingredient. Now, in the modern world, there is no time. The speed with which new hazards are created reflects the impetuous and heedless pace of man, rather than the deliberate pace of nature. Radiation is no longer merely the background radiation of rocks, the bombardment of cosmic rays, the ultraviolet of the sun, which existed before there was any life on earth; radiation is now also the unnatural creation of man's tampering with the atom. The chemicals to which life is asked to make its adjustment are no longer merely the calcium and silica and copper and the rest of the minerals washed out of the rocks and carried in rivers to the sea; they are also the synthetic creations of man's inventive mind, brewed in his laboratories and having no counterparts in nature. To adjust to these chemicals would require time on the scale that is nature's; it would require not merely the years of a man's life but the life of generations. And even this would be futile, for the new chemicals come in an endless stream; almost five hundred annually find their way into actual use in the United States alone. The figure is staggering and its implications are not easily grasped: five hundred new chemicals to which the bodies of men and all other living things are required somehow to adapt each year—chemicals totally outside the limits of biological experience.

Among the new chemicals are many that are used in man's war against nature. In the past decade and a half, some six hundred basic chemicals have been created for the purpose of killing insects, weeds, rodents, and other organisms described in the modern vernacular as "pests." In the form of sprays, dusts, and aerosols, these basic chemicals are offered for sale under several thousand different brand names—a highly bewildering array of poisons, confusing even to the chemist, which have the power to kill every insect, the "good" as well as the "bad," to still the song of birds and to stop the leaping of fish in the streams, to coat the leaves with poison and to linger on in soil. It may prove to be impossible to lay down such a barrage of dangerous poisons on the surface of the earth

without making it unfit for all life. Indeed, the term “biocide” would be more appropriate than “insecticide”—all the more appropriate because the whole process of spraying poisons on the earth seems to have been caught up in an endless spiral. Since the late nineteen-forties, when DDT began to be used widely, a process of escalation has been going on in which ever more toxic chemicals must be found. This has happened because insects, in a triumphant vindication of Darwin’s principle of the survival of the fittest, have consistently evolved super-races immune to the particular insecticide used, and hence a deadlier one has always had to be developed—and then a deadlier one than that. It has happened also that destructive insects often undergo a “flareback,” or resurgence, after spraying, in numbers greater than before. The chemical war is never won, and all life is caught in its cross fire.

Along with the possibility of the extinction of mankind by nuclear war, a central problem of our age is the contamination of man’s total environment with substances of incredible potential for harm—substances that accumulate in the tissues of plants and animals, and even penetrate the germ cells, to shatter or alter the very material of heredity, upon which the shape of the future depends. Some would-be architects of our future look toward a time when we will be able to alter the human germ plasm by design. But we may easily be altering it now by inadvertence, for many chemicals, like radiation, bring about gene mutations. It is ironic to think that man may determine his own future by something so seemingly trivial as the choice of his insect spray. The results, of course, will not be apparent for decades or centuries. All this has been risked—for what? Future historians may well be amazed by our distorted sense of proportion. How could intelligent beings seek to control a few unwanted species of weeds and insects by a method that brought the threat of disease and death even to their own kind?

The problem whose attempted solution has touched off such a train of disaster is an accompaniment of our modern way of life. Long before the age of man, insects inhabited the earth—a group of extraordinarily varied and adaptable beings. Since man’s advent, a small percentage of the more than half a million species of insects have come into conflict with human welfare, principally in two ways—as competitors for the food supply and as carriers of human disease. Disease-carrying insects become important where human beings are crowded together, especially when sanitation is poor, as in times of natural disaster or war, or in situations of extreme poverty and deprivation. As for insects that compete with man for food, they become important with the intensification of agriculture—the devotion of immense acreages to the production of a single crop. Such a system sets the stage for explosive increases in specific insect populations. Single-crop farming does not take advantage of the principles by which nature works; it is agriculture as an engineer might conceive it to be. Nature has introduced great variety into the landscape, but man has displayed a passion for simplifying it. Thus he undoes the built-in checks and balances by which nature holds the various species within bounds. One important natural check is a limit on the amount of suitable habitat for each species. Obviously, an insect that lives on wheat can build up its population to much higher levels on a farm devoted solely to wheat than on a farm where wheat is intermingled with crops to which the insect is not adapted. In all such circumstances, insect control of some sort is necessary and proper. But in the case of both types of insect—the disease-carrying and the crop-consuming—it is a sobering fact that massive chemical control has had only limited success, and even threatens to worsen the very conditions it is intended to curb.

Another aspect of the insect problem is one that must be viewed against a background of geological and human history—the spreading of thousands of different kinds of organisms from their native homes into new territories. This worldwide migration has been studied and graphically described by the British ecologist Charles Elton in his recent book “The Ecology of Invasions by Animals and Plants.” During the Cretaceous period, some hundred million years ago, flooding seas created many

islands within continents, and living things found themselves confined in what Elton calls “colossal separate nature reserves.” There, isolated from others of their kind, they developed large numbers of new species. When some of the land masses were joined again, about fifteen million years ago, these species began to move out into new territories—a movement that not only is still in progress but is now receiving considerable assistance from man. The importation of plants is the primary agent in the modern spread of species, for animals have almost invariably gone along with the plants—quarantine being a comparatively recent and never completely effective innovation. The United States government itself has imported approximately two hundred thousand species or varieties of plants from all over the world. Nearly half of the hundred and eighty-odd major insect enemies of plants in the United States are accidental imports from abroad, and most of them have come as hitchhikers on plants. In new territory, out of reach of the natural enemies that kept down its numbers in its native land, an invading plant or animal is able to increase its numbers enormously. Realistically speaking, it would seem that insect invasions, both those occurring naturally and those dependent on human assistance, are likely to continue indefinitely. We are faced, according to Dr. Elton, “with a life-and-death need not just to find new technological means of suppressing this plant or that animal” but to acquire the basic knowledge of animal populations and their relations to their surroundings that will “promote an even balance and damp down the explosive power of outbreaks and new invasions.” Much of the necessary knowledge is now available, but we do not use it. Have we fallen into a mesmerized state that makes us accept as inevitable that which is inferior or detrimental, as though we had lost the will or the vision to demand that which is good? Such thinking, in the words of the American ecologist Paul Shepard, “idealizes life with only its head out of water, inches above the limits of toleration of the corruption of its own environment,” and he goes on to ask, “Why should we tolerate a diet of weak poisons, a home in insipid surroundings, a circle of acquaintances who are not quite our enemies, the noise of motors with just enough relief to prevent insanity? Who would want to live in a world which is just not quite fatal?”

Yet such a world is pressed upon us. For the first time in history, virtually every human being is subjected to contact with dangerous chemicals from birth to death. In the less than two decades of their use, DDT and other synthetic pesticides have been thoroughly distributed over all but a few corners of the world. They have been recovered from many of the major river systems, and even from the streams of ground water flowing unseen through the earth. They have been found in soil to which they were applied a dozen years before. They have lodged in the bodies of fish, birds, reptiles, and domestic and wild animals to the point where it is now almost impossible for scientists carrying on animal experiments to obtain subjects free from such contamination. They have been found in fish in remote mountain lakes, in earthworms burrowing in soil, in the eggs of birds, and in man himself. These chemicals are now stored in the bodies of the vast majority of human beings, regardless of their age. They occur in mother’s milk, and probably in the tissues of the unborn child.

All this has come about because of the prodigious growth of an industry for the production of synthetic chemicals with insecticidal properties. This industry is a child of the Second World War. In the course of developing agents of chemical warfare, some of the chemicals created in the laboratory were found to be lethal to insects. The discovery did not come by chance; insects were widely used to test chemicals as agents of death for man. In being man-made—by the ingenious laboratory manipulation of molecules, involving the substitution of atoms or the alteration of their arrangement—the new insecticides differ sharply from the simpler ones of prewar days. These were derived from naturally occurring minerals and plant products: compounds of arsenic, copper, lead, manganese, zinc, and other minerals; pyrethrum, from the dried flowers of chrysanthemums; nicotine sulphate, from some of the relatives of tobacco; and rotenone, from leguminous plants of the East Indies. What sets the new synthetic insecticides apart is their enormous biological potency. They can enter into the most vital processes of the body and change them in sinister and often deadly ways.

Yet new chemicals are added to the list each year, and new uses are devised for them. Production of synthetic pesticides in the United States soared from 124,259,000 pounds in 1947 to 637,666,000 pounds in 1960—more than a fivefold increase. In 1960, the wholesale value of these products was well over a quarter of a billion dollars. But in the plans and hopes of the industry this enormous production is only a beginning. A *Who's Who* of pesticides, therefore, is of concern to us all. If we are going to live so intimately with these chemicals—eating and drinking them, taking them into the very marrow of our bones—we had better know something about their power.

The *Who's Who* would certainly include some of the pesticides that were used before the Second World War. Chief among these is arsenic, which is still the basic ingredient of a variety of weed and insect killers. Arsenic is a mineral occurring widely in association with the ores of various metals, and, in very small amounts, in volcanoes, in the sea, and in spring water. Its relations to man are varied and historic. Since many of its compounds are tasteless, it has been a favorite agent of homicide from long before the time of the Borgias. It was also the first recognized elementary carcinogen (or cancer-causing substance), being identified in chimney soot and linked to cancer nearly two centuries ago by an English physician. Epidemics of chronic arsenical poisoning involving whole populations over long periods are on record. Arsenic-contaminated environments have also caused sickness and death among horses, cows, goats, pigs, deer, fishes, and bees, but arsenical sprays and dusts are still widely applied. In the arsenic-sprayed cotton country of the southern United States, beekeeping as an industry has nearly died out. Farmers using arsenic dusts over long periods have been afflicted with chronic poisoning; livestock have been poisoned by crop sprays or weed killers containing arsenic. "It is scarcely possible. . . to handle arsenicals with more utter disregard of the general health than that which has been practiced in our country in recent years," Dr. W. C. Hueper, of the National Cancer Institute, an authority on environmental cancer, has said. "Anyone who has watched the dusters and sprayers of arsenical insecticides at work must have been impressed by the almost supreme carelessness with which these poisonous substances are dispensed."

The vast majority of modern insecticides fall into one of two large groups of chemicals. One group, represented by DDT, consists of the chlorinated hydrocarbons. The other consists of the organic phosphates, and is represented by the reasonably familiar malathion and parathion. All have one thing in common: they are built on a basis of carbon atoms, which are also the indispensable building blocks of life, and thus both groups are classed as "organic." Carbon is an element whose atoms have an almost infinite capacity for uniting with each other in chains and rings and various other configurations, and for becoming linked with atoms of other substances. Indeed, the incredible diversity of living creatures, from bacteria to whales, is due in large measure to this capacity of carbon. The complex protein molecule has the carbon atom as its basis, as have molecules of fat, carbohydrates, enzymes, and vitamins. So, too, have enormous numbers of nonliving things, for carbon is not necessarily a symbol of life. Some organic compounds are combinations of carbon and hydrogen. The simplest of these is methane, or marsh gas, which is formed in nature by the bacterial decomposition of organic matter under water. Mixed with air in certain proportions, it becomes the dreaded firedamp of coal mines. The structure of methane is beautifully simple—one carbon atom to which four hydrogen atoms have become attached. Chemists have discovered that it is possible to detach one or all of the hydrogen atoms and substitute other elements. For example, take away three hydrogen atoms and substitute chlorine atoms, and we have the anesthetic chloroform. Substitute chlorine atoms for all of the hydrogen atoms, and the result is carbon tetrachloride, the familiar cleaning fluid. These changes rung upon the basic molecule of methane illustrate in the simplest possible terms what a chlorinated hydrocarbon is. They give little hint of the complexity of the chemical world of the hydrocarbons, or of the manipulations by which the organic chemist creates his infinitely varied materials. For instead of the methane molecule, with its single carbon atom, he may work with hydrocarbon molecules consisting of many carbon atoms, arranged in rings or chains,

and with side chains or branches, any of which may hold to themselves with chemical bonds not merely atoms of hydrogen or chlorine but also a wide variety of chemical groups. By seemingly slight changes, the whole character of the substance is transformed.

DDT (short for dichloro-diphenyl-trichloro-ethane) was first synthesized by a German chemist in 1874, but its properties as an insecticide were not discovered until 1939. Almost immediately thereafter, it was hailed as a means of stamping out insect-borne disease and winning the farmers' war against crop destroyers overnight, and, in due course, the chemist who had discovered its ability to kill insects, Paul Müller, of Switzerland, won the Nobel Prize. DDT is now so universally used that in most minds it has taken on the harmless aspect of the familiar. Perhaps the myth of the harmlessness of DDT rests on the fact that one of its first uses was the wartime dusting of many thousands of soldiers, refugees, and prisoners, to combat lice. It is widely believed that since so many people came into extremely intimate contact with DDT and suffered no immediate ill effects, the chemical must certainly be an innocent one. This understandable misconception arises from the fact that—unlike other chlorinated hydrocarbons—DDT in powder form is not readily absorbed through the skin. It does penetrate readily when it is dissolved in oil, as it usually is. If it is swallowed, it is absorbed slowly through the digestive tract; it may also be absorbed through the lungs. Once DDT, which, like all the chlorinated hydrocarbons, is soluble in fat, has entered the body, it is stored largely in organs rich in fatty substances, such as the adrenals, the testes, and the thyroid, and relatively large amounts are also deposited in the liver, the kidneys, and the fat of the large, protective mesentery, the tissue that enfolds the intestines and attaches them to the body wall. This storage of DDT begins with the smallest conceivable intake, and the fatty storage depots act as biological magnifiers, so that an intake of as little as one-tenth of one part per million in the diet results in the storage of from ten to fifteen parts per million—a hundredfold increase, or more. These terms of reference, so commonplace to the chemist or the pharmacologist, are unfamiliar to most of us. One part in a million sounds like a very small amount—and so it is. But some substances are so potent that a minute quantity can bring about vast changes in the body. For example, as little as three parts of DDT per million has been found to inhibit an oxidative enzyme in the heart muscle of experimental animals.

In other experiments, only five parts of DDT per million brought about necrosis, or disintegration, of the cells of the liver; only 2.5 parts of the closely related insecticides dieldrin and chlordane have the same effect. This is really not surprising. In the normal chemistry of the human body, too, there is just such a disparity between cause and effect. For example, a quantity of iodine as small as two ten-thousandths of a gram can spell the difference between health and disease. Because these small amounts of pesticides are cumulatively stored and, in general, are built up at a rate higher than that at which they are excreted, the threat of chronic poisoning and of degenerative changes of the liver and other organs is a real one.

Scientists are not sure how much DDT can be stored in the human body. Some believe that there is a ceiling beyond which absorption and storage cease. Others do not. For practical purposes, it is not particularly important which view is right. Storage in human beings has been well investigated, and we know roughly how much the average person is storing. According to various studies, individuals with no known exposure except the inevitable dietary one store from 5.3 parts per million to 7.4 parts per million; agricultural workers about 17.1 parts per million; and workers in insecticide plants as high as 648 parts per million. Potentially harmful amounts undoubtedly vary from individual to individual, and, in any case, harmful results may not occur for years. The chemists' ingenuity in devising insecticides long ago outstripped the biologists' knowledge of the way these poisons affect the living organism.

One of the most significant features of DDT and related chemicals is the way they are passed on

from one organism to another through all the links of the food chains. Fields of alfalfa, say, are dusted with DDT; meal is later prepared from the alfalfa and fed to hens; the hens lay eggs that contain DDT. Or the hay, containing residues of from seven to eight parts per million, may be fed to cows. The DDT will turn up in the milk in the amount of about three parts per million, but in butter made from this milk the concentration may run to sixty-five parts per million. During the process of transfer, what started out as a very small amount of DDT may end as a heavy concentration. The poison may be passed on from mother to offspring. The presence of insecticide residues in human milk has been established by Food and Drug Administration scientists. This is probably not the breast-fed infant's first exposure, however; there is good reason to believe that he starts receiving toxic chemicals while he is still in the womb. In experimental animals, the chlorinated-hydrocarbon insecticides freely cross the barrier of the placenta, the traditional protective shield between the embryo and harmful substances in the mother's body. While the quantities so received by human infants would normally be small, they would not be unimportant, because children are more susceptible to poisoning than adults.

Chlordane, another chlorinated hydrocarbon, has all the unpleasant attributes of DDT, plus a few that are peculiarly its own. Its residues are long persistent in soil, on foodstuffs, and on surfaces to which it may be applied, yet it is also quite volatile, and poisoning by inhalation is a definite risk to anyone handling it or exposed to it. Chlordane takes advantage of all available portals in entering the body. A diet containing such a small amount of chlordane as 2.5 parts per million may eventually lead to storage of seventy-five parts per million in the fat. In 1950, Dr. Arnold J. Lehman, who is the chief pharmacologist of the Food and Drug Administration, described chlordane as "one of the most toxic of insecticides," adding, "Anyone handling it could be poisoned." To judge by the care-free liberality with which dusts for treating suburban lawns are laced with chlordane, this warning has not been taken to heart. If a suburbanite handling one of them is not instantly stricken, this does not mean he has escaped harm; the toxins may sleep long in his body, to become manifest months or years later in an obscure disorder that is almost impossible to trace to its origins. However, death may sometimes strike quickly. One man who accidentally spilled a twenty-five-per-cent solution of chlordane on his skin developed symptoms of poisoning within forty minutes and died before medical help could be obtained.

Heptachlor, one of the constituents of chlordane, is marketed as a separate formulation. It has a particularly high capacity for storage in fat. If the diet contains as little as a tenth of one part per million, there will be measurable amounts of heptachlor in the body. It also has the curious ability to undergo change into a chemically distinct substance known as heptachlor epoxide. It does this in soil and in the tissues of both plants and animals. Laboratory tests on quail show that the epoxide is from two to four times as toxic as the original chemical.

As long ago as the mid-nineteen-thirties, a special group of hydrocarbons, the chlorinated naphthalenes, had been found to cause hepatitis and a rare and almost invariably fatal disease known as yellow atrophy of the liver in persons subjected to occupational exposure. These chemicals have led to illness and death of workers in electrical industries (where they are used in insulation), and more recently, in agriculture, they have been considered a cause of a mysterious and usually fatal disease of cattle. It is not surprising that three of the insecticides that belong to this group are among the most violently poisonous of all the hydrocarbons. These are dieldrin, aldrin, and endrin.

Dieldrin, named for a German chemist, Otto Diels, is about five times as toxic as DDT when it enters the body through the mouth and forty times as toxic when it is absorbed through the skin in solution. It is notorious for striking quickly at the nervous system, sending the victim into convulsions. Because the insecticidal action of dieldrin is particularly potent, and because its residues persist

for a long period, it is one of the most widely used insecticides today. There are vast gaps in our knowledge of how dieldrin is stored and distributed in the body, and of the extent to which it is excreted, but there are indications of long storage in the human body, where deposits may lie dormant like a slumbering volcano, only to flare up in periods of physiological stress, when the body draws upon its fat reserves. Much of what we do know has been learned through hard experience in the anti-malarial campaigns carried out by the World Health Organization. As the malaria mosquitoes have become resistant to DDT, dieldrin has been substituted in malaria-control work, and, as this has happened, cases of poisoning have appeared among the spraymen. A study published in 1959 reported that the seizures were severe; from half to all of the men affected—the proportion varied in different programs—went into convulsions, and several died. Some were still subject to convulsions as long as four months after the last exposure.

Aldrin is a still more mysterious substance, for although it exists as a separate entity, it bears the relation of alter ego to dieldrin. When carrots are taken from a bed treated with aldrin, they are found to contain residues of dieldrin—a change that occurs both in the living tissues and in the soil. If a chemist, knowing that aldrin has been applied, tests for it, he will be deceived into thinking all residues have been dissipated. The residues are there, but they are dieldrin, and this requires a different test. In any event, aldrin is slightly more toxic than dieldrin. It has produced degenerative changes in the liver and kidneys of experimental animals. A quantity the size of an aspirin tablet is enough to kill more than four hundred quail. Many cases of human poisoning are on record, most of them in connection with industrial handling. Beyond that, aldrin, like most of this group of insecticides, projects a menacing shadow into the future—the shadow of sterility. Birds that consume it in quantities too small to kill them lay few eggs, and the chicks that hatch soon die. Rats who have been exposed to aldrin have fewer pregnancies, and their young are sickly and short-lived, and puppies whose mothers have been exposed to the poison have been known to die within three days. By one means or another, the new generations suffer as a result of poisoning of their parents. No one knows whether the same effect will be seen in human beings.

The third of the naphthalenes, endrin, is perhaps the most toxic of all the chlorinated hydrocarbons now in use. Although it is chemically rather closely related to dieldrin, a little twist in its molecular structure makes it up to twelve times as poisonous to rats; by comparison, DDT seems almost harmless. In the decade of its use, endrin has killed enormous numbers of fish, has fatally poisoned cattle that have wandered into sprayed orchards, and has poisoned wells. At least one state health department has warned that careless use of endrin is endangering human lives. But even apparently careful use can be dangerous. In 1958, an American couple with a year-old boy had gone to live in Venezuela. There were cockroaches in the house they moved into, and after a few days they used a spray containing endrin. The baby and the small family dog were taken out of the house before the spraying was done, about nine o'clock one morning. After the spraying, the floors were washed. The baby and dog were returned to the house in midafternoon. An hour or so later, the dog vomited, went into convulsions, and died. At ten in the evening, the baby also vomited and went into convulsions, and then lost consciousness. At once, this normal, healthy child became little more than a vegetable—unable to see or hear, subject to frequent muscular spasms, and, it would seem, completely cut off from his surroundings. Several months of treatment in a New York hospital failed to change his condition or bring hope of change. "It is extremely doubtful," reported the attending physicians, "that any useful degree of recovery will occur."

The second major group of insecticides, the organic phosphates—esters of phosphoric acid—are among the most poisonous chemicals in the world. The origin of these chemicals has a certain ironic significance. Some of them had been known for many years, but their insecticidal properties were first discovered by a German chemist, Gerhard Schrader, in the late nineteen-thirties. Almost

at once, the German government recognized the value of these chemicals as new and devastating weapons in man's war against his own kind, and work on them was declared secret. Some became nerve gases. Others became insecticides. The chief and most obvious hazard attending their use is that of acute poisoning of people applying the sprays or accidentally coming in contact with drifting spray, or vegetation coated with it, or a discarded container. In Florida, in 1960, two children used a discarded bag to repair a swing. Shortly thereafter, both of them died, and three of their playmates became ill. The bag had once contained the insecticide parathion, and tests established death by parathion poisoning.

The organic-phosphate insecticides act on the living organism in a peculiar way. They have the ability to destroy enzymes—enzymes that perform necessary functions in the body. Their target, whether the victim is an insect or a warm-blooded animal, is the nervous system. Under normal conditions, an impulse passes from nerve to nerve with the aid of a “chemical transmitter” called acetylcholine, a substance that performs an essential function and then disappears. Indeed, its existence is so ephemeral that without special procedures medical researchers are unable to sample it before the body has destroyed it. The transient nature of the chemical transmitter is necessary to the normal functioning of the body. If the acetylcholine is not inactivated as soon as a nerve impulse has passed, impulses continue to flash across the bridge from nerve to nerve; the chemical not only goes on exerting its effect but exerts it in an ever more intensified manner. The movements of the whole body become uncoordinated; tremors, muscular spasms, convulsions, and death quickly result. Fortunately, the body has its own protective device against this peril—an enzyme called cholinesterase, which breaks down the transmitting chemical once it is no longer needed. By this means, a precise balance is struck, and the body never builds up a dangerous amount of acetylcholine. But on contact with the organic-phosphate insecticides the activity of the protective enzyme is inhibited, and as the effective quantity of the enzyme is reduced, that of the chemical transmitter builds up. In having this effect, the organic-phosphate compounds resemble the alkaloid poison muscarine, found in a poisonous mushroom, the fly amanita. Repeated exposure may lower the cholinesterase level until an individual reaches the brink of acute poisoning—a brink over which he may be pushed by a very small additional exposure. For this reason, it is considered important to make periodic examinations of the blood of spray operators and others regularly exposed.

Parathion is one of the most widely used of the organic phosphates. It is also one of the most powerful. Honeybees become agitated and bellicose on contact with it, engage in frantic cleaning movements, and are near death within half an hour. A chemist, hoping to learn by the most direct means the dose acutely toxic to human beings, swallowed a minute amount, about .00424 of an ounce. Paralysis followed so swiftly that he could not reach the antidotes he had at hand, and so he died. One of the circumstances that save us from extinction by parathion and the other chemicals of the organic-phosphate group is that they are decomposed rather rapidly. However, they last long enough to create hazards and produce consequences that range from the merely serious to the fatal. In Riverside, California, eleven out of thirty men picking oranges became violently ill, and all but one of the eleven had to be hospitalized. The grove had been sprayed with parathion some two and a half weeks earlier; the residues that reduced them to retching, half-blind, semi-conscious misery were from sixteen to nineteen days old. And this is not by any means a record for persistence. On citrus fruit, parathion has been found to have a “half life” of from sixty to eighty days; in that amount of time, half the chemical disintegrates. The danger to all workers applying the organic-phosphate insecticides is so extreme that some states using these chemicals have established laboratories where physicians may obtain aid in diagnosis and treatment. The physicians themselves may be in some danger, unless they wear rubber gloves while they are handling the victims of poisoning. So may a laundress washing a victim's clothing. Parathion is now said to be a favorite instrument of suicide in Finland. In recent years, the state of California has reported an average of two hundred

cases of accidental parathion poisoning annually. In many parts of the world, the fatality rate from parathion is startling: a hundred fatal cases in India and sixty-seven in Syria in 1958, and an average of three hundred and thirty-six a year in Japan. Yet some six million pounds of parathion are now applied annually to fields, orchards, and vineyards of the United States—by hand sprayers, by motorized blowers and dusters, and by airplane. The amount used on California farms alone could, according to Dr. Irma West, of the California State Department of Public Health, “provide a lethal dose for five to ten times the whole world’s population.”

Malathion is almost as familiar to the public as DDT, being widely used in gardening, in household insecticides, in mosquito spraying, and in such blanket attacks on insects as the spraying of nearly a million acres in Florida for the Mediterranean fruit fly. It is considered the least toxic of the organic phosphates, and many people assume that they may use it freely. Actually, the alleged safety of malathion rests on rather precarious ground, although—as often happens—this was not discovered until the chemical had been in use for several years. Malathion is “safe” only because the mammalian liver, an organ with extraordinary protective powers, renders it relatively harmless. The detoxication is accomplished by one of the enzymes of the liver. If, however, something destroys this enzyme or interferes with its action, the person exposed to malathion receives the full force of its toxic action, which resembles that of the other organic phosphates. Unfortunately for all of us, opportunities for this sort of thing to happen are legion. A few years ago, a team of Food and Drug Administration scientists discovered that when malathion and one of the other organic phosphates are administered simultaneously, a severe poisoning results—up to fifty times as severe as one would predict on the basis of adding together the toxicities of the two. In other words, one one-hundredth of the lethal dose of each compound can be fatal when the two are combined. This discovery led to the testing of other combinations, and, although the full scope of the interaction of chemicals has not yet been determined, it is now known that many pairs of organic-phosphate insecticides are similarly dangerous, the toxicity being “potentiated,” or stepped up, through the combined action. Potentiation seems to take place when one compound destroys the liver enzyme responsible for detoxicating the other. The two need not be given simultaneously. And the hazard exists not only for the man who may spray this week with one insecticide and next week with another; it exists also for the consumer of sprayed products. The common salad bowl may easily present a combination of organic-phosphate insecticides in quantities large enough to interact.

In Greek mythology, the sorceress Medea, enraged at being supplanted by a rival in the affections of her husband, Jason, presented the new bride with a robe possessing magical properties. The wearer of the robe immediately suffered a violent death. This death-by-indirection now has its counterpart in what are known as “systemic insecticides.” These are chemicals that are used to convert plants or animals into a sort of Medea’s robe. The purpose is to kill insects that may come in contact with these poisonous beings, especially by sucking their juices or their blood. The world of systemic insecticides is a weird world, surpassing the imaginings of the brothers Grimm. It is a world where the enchanted forest of the fairy tales has become a poisonous forest. It is a world where a flea bites a dog and dies, where an insect may die as a result of chewing a leaf or inhaling vapors emanating from a plant it has never touched, where a bee may carry poisonous nectar back to its hive and presently produce poisonous honey.

The entomologists’ dream of the built-in insecticide was born when workers in the field of applied entomology realized they could take a hint from nature: they found that wheat growing in soil that contains sodium selenate was poisonous to aphids. Selenium, a naturally occurring element found sparingly in rocks and soils of many parts of the world, thus became the first systemic insecticide. What makes an insecticide a systemic is its ability to permeate all the tissues of a plant or animal and make them toxic. This quality is possessed by some chemicals of the chlorinated-hydrocarbon

group and by others of the organic-phosphate group, all synthetically produced. In practice, most systemics are drawn from the organic-phosphate group, because with these the problem of residues is somewhat less acute.

Systemics can act in devious ways. Applied to seeds, either by soaking or by means of a coating in which the systemic is combined with carbon, they extend their effects into the following plant generation and produce seedlings poisonous to aphids and other sucking insects. Such vegetables as peas, beans, and sugar beets are sometimes thus protected. Cotton seeds coated with a systemic called phorate have been in use for some time in California, and in 1959 twenty-five farm laborers in the San Joaquin Valley, who had handled bags of treated seeds, were seized with sudden illness. In England, someone wondered what happened when bees made use of nectar from plants that had been treated with systemics. This was investigated in areas treated with a chemical called schradan. Although the plants had been sprayed before the flowers were formed, the nectar they produced contained the poison. The result, as might have been predicted, was that the honey made by the bees was also contaminated with schradan.

Animal systemics have been used chiefly to control the cattle grub, a damaging parasite of livestock. Extreme care must be taken in order to create an insecticidal effect in the blood and tissues of the host without setting up a fatal poisoning. The balance is very delicate indeed, and government veterinarians have found that repeated small doses can gradually deplete an animal's supply of cholinesterase, so that without warning a minute additional dose will cause poisoning. As yet, no one seems to have proposed a human systemic that would make us lethal to a mosquito. Perhaps this is the next step.

When we turn our attention to herbicides, or weed killers, we quickly come across the legend that they are toxic only to plants. Unfortunately, this is only a legend. The plant killers include a large variety of chemicals that act on animal tissue as well as on vegetation. No general statement can describe the action of all of them. Some are general poisons; some are powerful stimulants of metabolism, causing a fatal rise in body temperature; some can induce malignant tumors, either alone or in partnership with other chemicals; some can cause gene mutations.

Arsenic compounds are still liberally used, both as insecticides and as weed killers, where they usually take the chemical form of sodium arsenite. The history of their use is not reassuring. As roadside sprays, they have cost many a farmer his cow and killed uncounted numbers of wild creatures. As aquatic weed killers, they have made public waters unsuitable for drinking, or even for swimming. As a spray applied to potato fields to destroy the vines, they have taken a toll of human and non-human life. In England, this last practice developed in about 1951, as a result of a shortage of sulphuric acid, which had formerly been used to burn off the potato vines. The Ministry of Agriculture considered it necessary to issue a warning of the hazard of going into arsenic-sprayed fields, but the warning was not understood by the cattle (or by the wild animals and birds), and reports of poisoned cattle were received with monotonous regularity. In 1959, after death came to a farmer's wife through arsenic-contaminated water, one of the major English chemical companies stopped production of arsenical sprays and called in supplies already in the hands of dealers, and shortly thereafter the Ministry of Agriculture announced that restrictions on the use of arsenites would be imposed. In 1961, the Australian government announced a similar ban. No such restrictions impeded the use of these poisons in the United States.

The most widely used herbicides are 2,4-D, 2,4,5-T, and related members of what is known as the phenol group. Many experts deny that these are toxic. However, people spraying their lawns with 2,4-D and becoming wet with spray have occasionally developed severe neuritis and even pa-

ralysis. Although such incidents are apparently uncommon, medical authorities advise caution in the use of these compounds. Other hazards, more obscure, may also attend the use of 2,4-D. Experiments have shown its ability to disturb the basic physiological process of respiration in the cell, and, like X-rays, to damage the chromosomes. Some very recent work indicates that sub-lethal doses of these herbicides may affect reproduction in birds. The rest of the phenols may be equally dangerous. Dinitrophenol, for example, steps up the metabolism. For this reason, it was at one time used in the United States as a reducing drug, but the margin between the slimming dose and the dose required to poison or kill was slight—so slight that at least nine patients died and many suffered permanent injury before use of the drug was finally halted. It interferes with the body's source of energy in such a way that the affected organism almost literally burns itself up. A related chemical, pentachlorophenol, sometimes known as "penta," is used both as a weed killer and as an insecticide, often being sprayed along railroad tracks and in waste areas. The fearful power of penta, which acts in much the same way as dinitrophenol, is illustrated in a fatal accident recently reported by the California State Department of Public Health. A man was preparing a cotton defoliant by mixing diesel oil with penta. As he was drawing the concentrated chemical out of a drum, the spigot accidentally toppled back. He reached in with his bare hand to regain the spigot. Although he washed immediately, he became acutely ill, and died the next day.

Curious indirect results follow the use of certain herbicides. It has been found that animals—both wild herbivores and livestock—are sometimes strangely attracted to a plant that has been sprayed, even though it is not one of their natural foods. Apparently, the wilting that follows spraying (or cutting) makes the plant attractive. If a highly poisonous herbicide, such as arsenic, has been used, this intense desire to reach the wilting vegetation inevitably has disastrous consequences. Such consequences may also stem from the use of less toxic herbicides in cases where the plant itself happens to be poisonous or, perhaps, to possess thorns or burs. Poisonous range weeds, for example, have suddenly become attractive to livestock after spraying, and the animals have died from indulging this unnatural appetite. The literature of veterinary medicine abounds in similar examples: swine eating sprayed cockleburrs with consequent severe illness, lambs eating sprayed thistles, bees poisoned by pasturing on mustard that had been sprayed after it came into bloom. Wild cherry, the leaves of which are highly poisonous, has had a fatal attraction for cattle once its foliage has been sprayed with 2,4-D. The explanation of this peculiar behavior sometimes appears to lie in the changes that the chemical brings about in the metabolism of the plant. There is a temporary but marked increase in sugar content, and many animals seek the plant out for its sweetness.

Another curious effect of 2,4-D has important consequences for livestock and wildlife, and apparently for men as well. Experiments carried out about a decade ago showed that after treatment with this chemical there is a sharp increase in the nitrate content of corn and of sugar beets, and that this might also be true of sorghum, sunflower, spiderwort, lamb's-quarters, pigweed, and smartweed. Some of these are normally ignored by cattle but are eaten with relish after treatment with 2,4-D. According to some agricultural specialists, a number of deaths among cattle have been traced to such sprayed weeds. All ruminants—not only cattle but wild ruminants, such as deer, antelope, sheep, and goats—have a digestive system of extraordinary complexity, including a stomach divided into several chambers. The digestion of cellulose is accomplished in one of the chambers, through the action of microorganisms known as rumen bacteria. When the animal feeds on vegetation containing nitrates, the rumen bacteria change them into nitrites, and if the level of nitrates is abnormally high, a fatal series of events ensues. When the nitrites are present in large quantities, they act on the blood pigment to form a chocolate-brown substance in which oxygen is so firmly held that it cannot be transferred from the lungs to the tissues. And death occurs within a few hours from anoxia, or lack of oxygen. Now it appears that the custom of spraying corn with 2,4-D may be a factor in the current increase in the number of "silo deaths"—deaths of men who have entered silos

where corn, oats, or sorghum containing large amounts of nitrates have released poisonous nitrogen oxide gases. So serious is the problem that the New York State Coöperative Extension Service recently issued a poster warning, "Silo gases can kill you and your herd!" Although various factors, including exceptionally dry weather, can cause an increase in nitrate content, the effect of 2,4-D cannot be ignored. The situation was considered important enough by the University of Wisconsin Agricultural Experiment Station to justify a warning in 1957 that "plants killed by 2,4-D may contain large amounts of nitrate." Only a few breaths of one of the gases released by nitrates can cause a diffuse chemical pneumonia. In a series of cases studied by the University of Minnesota Medical School, all but one terminated fatally.

The pollution of our environment has many sources—radioactive wastes, fallout from nuclear explosions, domestic wastes from cities and towns, and chemical wastes from factories as well as the new fallout from chemical sprays—and it affects every one of man's natural resources. Of these, water has become the most precious. By far the greater part of the earth's surface is covered by its seas, yet in the midst of this plenty we are in want. Most of the earth's abundant water is not usable for agriculture, industry, or human consumption, because of its heavy load of salts, and so most of the world's population either is experiencing critical shortages of water or is threatened with them. And the water that is usable has become—in an age when man has forgotten his origins and is blind to the very conditions that are most essential to his survival—the victim of man's indifference. Ever since chemists began to manufacture substances that nature never invented, the problems of water purification have grown more complex and the danger to users of water has increased. In rivers, a really incredible variety of pollutants is present, producing combined deposits that the sanitary engineers can only refer to despairingly as "gunk." Professor Rolf Eliassen of the Massachusetts Institute of Technology testified before a congressional committee to the impossibility of identifying the organic matter resulting from the mixture. "We don't know what that is," said Professor Eliassen. "What is the effect on people? We don't know." We do know one thing, and that is that to an ever-increasing degree pesticides contribute to these organic pollutants. Because they become inextricably mixed with domestic and other wastes, they sometimes defy detection by the standard methods used in purification plants. Often they cannot be identified, and even if they are, most of them are so stable that they cannot be broken down by ordinary processes. Some are deliberately applied to bodies of water to destroy plants, insect larvae, or undesired fish. Some come from forest spraying, in the course of which two or three million acres of one of our states may be blanketed with spray directed against a single insect pest—spray that falls directly into streams or else drips down through the leafy canopy to the forest floor, there to become part of the slow movement of seeping moisture beginning its long journey to the sea. Probably the bulk of such contaminants, however, consists of water-borne residues of the millions of pounds of agricultural chemicals that have been leached out of the ground by rains to become part of the same seaward movement.

Here and there we have dramatic evidence of the presence of these chemicals in our streams, and even in public water supplies. A sample of drinking water from an orchard area in Pennsylvania was tested on fish in a laboratory; it contained enough insecticide to kill all the fish within four hours. The runoff from fields treated with a chlorinated hydrocarbon called toxaphene killed all the fish in fifteen streams tributary to the Tennessee River, in Alabama, two of which were sources of municipal water supplies; the water remained poisonous for a week after the application of the insecticide—a fact that was determined by the daily deaths of goldfish suspended in cages downstream. For the most part, such pollution is invisible; it may make its presence known when hundreds or thousands of fish die, but more often it is never detected at all.

Anyone who doubts that our waters have become almost universally contaminated with insecticides might well study a brief report issued by the United States Fish and Wildlife Service in 1960. The

Service had carried out studies to discover whether fish, like warm-blooded animals, store insecticides in their tissues. The first samples were taken from a creek in a forest area in the West where there had been mass spraying of DDT for the control of the spruce budworm. As might have been expected, all these fish contained DDT. The really significant findings were made when the investigators turned for comparison to a remote creek thirty miles from the nearest area sprayed for budworm control. This creek was upstream from the first, and separated from it by a high waterfall. No local spraying was known to have occurred. Yet the fish in that creek, too, contained DDT. Had the chemical been airborne, drifting down as fallout on the surface of the creek? Or had it reached the creek by hidden underground streams?

Probably no aspect of the entire water-pollution problem is more disturbing than the threat of widespread contamination of ground water. Seldom if ever does nature operate in separate compartments, and she has not done so in distributing the earth's water supply. As rain falls on the land, it seeps down through pores and cracks in soil and rock, penetrating deeper and deeper, until eventually it reaches a zone where all the pores of the bedrock are filled with water—a dark, subsurface sea, rising under hills, sinking beneath valleys. This ground water is always on the move, sometimes as slowly as fifty feet a year, sometimes as rapidly as nearly a tenth of a mile in a day. It travels unseen until, here and there, it comes to the surface as a spring, or perhaps is tapped to feed a well. But mostly it contributes invisibly to streams, and so to rivers. Except for the water that enters streams directly as rain or surface runoff, all the running water on the earth's surface was at one time ground water. And so pollution of the ground water is pollution of water everywhere.

It must have been by such a dark underground sea that poisonous chemicals travelled from a manufacturing plant in Colorado to a farming district several miles away. What happened, in brief, is this. In 1943 the Rocky Mountain Arsenal of the Army Chemical Corps, situated near Denver, began to manufacture war materials. Eight years later, the facilities of the arsenal were leased to a private oil company for the production of insecticides. Even before the changeover, however, mysterious reports had begun to come in. Farmers several miles from the plant reported unexplained sickness among livestock, and they complained of extensive crop damage; foliage turned yellow, plants failed to mature, and many crops were killed outright. And there were reports of human illness. The waters used for the irrigation of these farms were derived from shallow wells. In 1959, a study was undertaken, in which several state and federal agencies participated, and when the well waters were examined they were found to contain an assortment of chemicals. Such wastes as chlorides, chlorates, salts of phosphonic acid, fluorides, and arsenic had been discharged from the Rocky Mountain Arsenal during the years of its operation by the Army Chemical Corps. It was concluded that some of these wastes had found their way into the ground water at the arsenal and that it had taken from seven to eight years for them to travel underground a distance of about three miles from two of the arsenal's original holding ponds—mere depressions in the earth, into which wastes were discharged—to the nearest farm. The investigators knew of no way to contain the contamination—to halt its advance. All this was bad enough, but the most mysterious and probably, in the long run, the most significant feature of the whole episode was the discovery of 2,4-D in the holding ponds of the arsenal, even though no 2,4-D had been manufactured there during any stage of operations. After long and careful study, the chemists at the plant concluded that the 2,4-D had been formed spontaneously in the holding ponds, from other substances discharged from the arsenal; in the presence of catalyzing air and sunlight, and quite without the intervention of human chemists, the ponds had become laboratories for the production of a new chemical.

Indeed, one of the most alarming aspects of the chemical pollution of water is the fact that in river or lake or reservoir—or, for that matter, in the glass of water served at your dinner table—are mingled chemicals that no responsible chemist would think of combining in his laboratory. The possible

interactions between these chemicals, often comparatively harmless in themselves, are deeply disturbing to officials of the United States Public Health Service. The reactions may take place between two or more chemicals, or between various chemicals and radioactive wastes. Under the impact of ionizing radiation, rearrangements of atoms could easily occur, changing the nature of the chemical in a wholly unpredictable way, and one that would be wholly beyond control.

A striking example of the contamination of surface waters seems to be building up in the National Wildlife Refuges at Tule Lake and Lower Klamath Lake, both in California. These refuges are part of a group, which also includes the refuge on Upper Klamath Lake, just over the border in Oregon. The three are linked, perhaps fatefully, by a shared water supply, and they lie like small islands in a great sea of surrounding farmlands—land reclaimed by drainage and stream diversion from an original waterfowl paradise of marsh and open water. These farmlands around the refuges are now irrigated by water from Upper Klamath Lake. The irrigation waters, having been re-collected from the fields they have served, are pumped into Tule Lake and from there into Lower Klamath Lake. In the summer of 1960, biologists picked up hundreds of dead and dying birds at Tule Lake and Lower Klamath Lake. Most of them were fish-eating species—herons, pelicans, grebes, gulls. Upon analysis, they were found to contain insecticide residues identified as the chlorinated hydrocarbons toxaphene, DDD, and DDE. Fish from the lakes were also found to contain the insecticide residues; so were samples of plankton. It appears that pesticide residues are now building up in the waters of these refuges, being conveyed there by return irrigation flow from heavily sprayed agricultural lands. The refuges are critically important to the conservation of Western waterfowl. They lie in a strip of territory corresponding to the narrow neck of a funnel, in which all the migratory paths constituting what is known as the Pacific Flyway converge. During the fall migration, the three refuges receive many millions of ducks and geese, from nesting grounds that extend from the shores of the Bering Sea east to Hudson Bay—in fact, fully three-fourths of all the waterfowl that move south into or through the Pacific Coast states in autumn. During the summer, the refuges provide nesting areas for waterfowl, and especially for two endangered species, the redhead and the ruddy duck. If the lakes and pools of these refuges become seriously contaminated, the damage to the waterfowl populations of the Far West could be irreparable.

Water, of course, supports long chains of life—from the small-as-dust green cells of the drifting plant plankton, through the minute water fleas, to the fish that strain plankton from the water and are, in turn, eaten by other fish or by birds, mink, raccoons, and man himself, in an endless transfer of materials from life to life. We know that the minerals necessary for all these forms of life are extracted from the water and passed from link to link of the food chains. Can we suppose that poisons we introduce into water will not follow the same course? The answer is to be found in the recent history of Clear Lake, California. Clear Lake lies in mountainous country some ninety miles north of San Francisco and has long been popular with anglers. The name is plainly inappropriate; actually the lake is rather turbid, because its bottom, which is shallow, is covered with soft black ooze. Unfortunately for the fishermen and the resort dwellers on its shores, its waters have long provided an ideal habitat for a small gnat, *Chaoborus astictopus*. Although the gnat is closely related to mosquitoes, it is not a bloodsucker; indeed, it probably does not feed at all as an adult. However, the human beings who came to share its habitat found it annoying, because of its sheer numbers. Efforts were made to control it, but they were largely fruitless until, in the late nineteen-forties, the chlorinated-hydrocarbon insecticides offered a new weapon. The chemical chosen for a fresh attack was DDD, an insecticide that apparently offered fewer threats to fish life than DDT. The new control measures, undertaken in September of 1949, were carefully planned, and few people would have supposed that any harm could result. The lake was surveyed, its volume was determined, and the insecticide was applied in the concentration of one part to every seventy million parts of water. Control of the gnats was good at first, but by September of 1954 the treatment had to be repeated, and

this time the chemical was added in the concentration of one part in fifty million parts of water. The destruction of the gnats was then thought to be virtually complete. The following winter months brought the first intimation that other life was affected; the western grebes on the lake began to die, and soon more than a hundred of them had been reported dead. At Clear Lake, the western grebe is a breeding bird and also a winter visitant, attracted by the abundant fish of the lake. It is a bird of spectacular appearance and beguiling habits, building floating nests in shallow lakes of the western United States and western Canada. It is sometimes called the “swan grebe,” and with reason, for it glides with scarcely a ripple across the lake surface, its body riding low and its white neck and shining black head held high. The newly hatched chick is clothed in soft gray down; only a few hours after emerging from the shell it takes to the water, riding on the back of the father or mother, nestled under the parental wing coverts. Following a third assault on the ever-resilient gnat population, in September, 1957—again in a concentration of one part of DDD to fifty million parts of water—more grebes died. Both then and in 1954, no evidence of infectious disease could be discovered on examination of the dead birds. But when someone thought of analyzing the fatty tissues of the grebes, they were found to be loaded with DDD in the extraordinary concentration of sixteen hundred parts per million. How could the chemical have built up to such prodigious levels? The grebes, of course, are fish eaters. When the fish of Clear Lake were also analyzed, the picture began to take form: The poison had been picked up by the smallest organisms, concentrated, and passed on to the larger ones, which concentrated it further. Plankton organisms were found to contain about five parts per million of the insecticide; plankton-eating fish had built up accumulations ranging from forty to three hundred parts per million; carnivorous species of fish had stored the most of all. One fish, a brown bullhead, had the astounding concentration of twenty-five hundred parts per million. It was a house-that-Jack-built sequence, in which the large carnivores had eaten the smaller carnivores, which had eaten the herbivores, which had eaten the plankton, which had absorbed the poison from the water.

Even more extraordinary discoveries were made later. No trace of DDD could be found in the water shortly after the last application of the chemical. But the poison had not really left the lake; it had merely gone into the fabric of the life that the lake supported. Twenty-three months after the chemical treatment had ceased, the plankton still contained as much as 5.3 parts of it per million. In that interval of nearly two years, successive crops of plankton had flowered and faded away, but the poison had somehow passed from generation to generation. And it lived on in the animal life of the lake as well. All fish, birds, and frogs examined a year after the chemical applications had ceased still contained DDD. The amount found in the flesh always exceeded by many times the original concentration in the water. Among these living carriers were fish that had hatched nine months after the last application of DDD. California gulls had built up concentrations of more than two thousand parts per million. The grebes still carried heavy residues, and meanwhile their nesting colonies had dwindled, from more than a thousand pairs before the first insecticide treatment to about thirty pairs in 1960. Even the thirty seem to have nested in vain, for no young grebes have been observed on the lake since the last DDD application. And what of the human being who has rigged his fishing tackle, caught a string of fish from the waters of Clear Lake, and taken them home to fry for supper?

What could a heavy dose of DDD—and perhaps repeated heavy doses—do to him? The California State Department of Public Health professed to see no hazard, yet in 1959 it required that the use of DDD in the lake be stopped. In view of the evidence, the action seems a minimum safety measure.

The thin layer of soil that forms a patchy covering over the continents controls our own existence and that of every other animal of the land. Without soil, land plants as we know them could not grow, and without plants no animal could survive. Yet if our life depends on the soil, it is equally true that soil depends on life; its very origins and the maintenance of its true nature are intimately

related to living plants and animals. For soil is in part a creation of life, born of a marvellous interaction of life and inert matter aeons ago. The parent materials were gathered together as volcanoes poured them out in fiery streams, as waters running over the bare rocks of the continents wore away even the hardest granite, and as the chisels of frost and ice split and shattered the rocks. Then living things began to work their creative magic, and little by little these inert materials became soil. Lichens, the rocks' first covering, aided the process of disintegration by means of acid secretions and made a lodging place for other life. Mosses took hold in these little pockets of simple soil—soil formed by crumbling bits of lichen, by the husks of minute insect life, by the debris of a fauna beginning its emergence from the sea. And not only did life help form the soil but living things now exist within it in incredible abundance and diversity; if this were not so, the soil would be a dead and sterile thing. The soil exists in a state of constant change, taking part in cycles that have no beginning and no end. New materials are constantly being contributed as rocks disintegrate, as organic matter decays, and as nitrogen and other gases are brought down in rain from the skies. Simultaneously, materials are being taken away, harrowed temporarily for use by living creatures. Subtle and vastly important chemical changes are constantly in progress, converting elements derived from air and water into forms suitable for the support of plant life, and in all these changes living organisms are active agents.

There are few studies more fascinating, and at the same time more neglected, than the study of the teeming populations that exist in the dark realms of the soil. We know too little of the links that bind the soil organisms to each other, to their world, and to the world above. Perhaps the most essential organisms in the soil are the smallest—the invisible hosts of bacteria and of threadlike fungi. Statistics of their abundance take us at once into astronomical figures. A teaspoonful of topsoil may contain billions of bacteria. In spite of their minute size, the combined weight of bacteria in the top foot of a single acre of fertile soil, which itself weighs from ten to seventeen tons, may be as much as a thousand pounds. Ray fungi, growing in long filaments, are somewhat less numerous than the bacteria, but since they are larger, their total weight in a given amount of soil may be about the same.

With small, green cells of algae, these make up the microscopic plant life of the soil. Bacteria, fungi, and algae are the principal agents of decay, reducing plant and animal residues to their component materials. The vast cyclic movements of chemical elements, such as carbon and nitrogen, through soil and air and living tissue could not proceed without these microplants. Without the nitrogen-fixing bacteria, for example, plants would starve for want of nitrogen, though they are surrounded by nitrogen-containing air. Other soil organisms form carbon dioxide, which on being dissolved in water becomes carbonic acid and aids in dissolving rock. Still other soil microbes perform the various oxidations and reductions by which minerals such as iron, manganese, and sulphur are transformed and made available to plants. Also present in prodigious numbers in the soil are microscopic mites and primitive, wingless insects called springtails. Small as they are, both play an important part in breaking down the residues of plants, and thus aid in the slow conversion of the litter of the forest floor to soil. The specialization of some of these minute creatures for their task is almost incredible. Several species of mites, for example, can begin life only within needles that have fallen from a spruce tree. Sheltered there, they digest out the inner tissues of the needle. By the time the mites have completed their development, only the outer layer of cells remains. The truly staggering task of dealing with the tremendous amount of plant material in the annual leaf fall belongs to some of the small insects of the soil and the forest floor. They macerate and digest the leaves, and help to mix the decomposed matter with the surface soil.

Besides all this horde of minute but ceaselessly toiling creatures, there are, of course, many larger forms, for soil life runs the gamut from bacteria to mammals. Some of these larger forms are permanent residents of the dark, subsurface layers; some hibernate or spend certain parts of their life cy-

cles in underground chambers; some come and go freely between their burrows and the upper world. In general, the effect of all this habitation of the soil is to aerate it and to improve both its drainage and the penetration of water throughout the layers of plant growth. Of all the larger inhabitants of the soil, probably none is more important than the earthworm. Just over three-quarters of a century ago, Charles Darwin published a book titled "The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms, with Observations on Their Habits." In it he gave the world its first understanding of the fundamental role that earthworms play as geological agents for the transport of soil—a picture of surface rocks being gradually covered by fine soil brought up from below by the worms, which ingest earth in building burrows and as food and eject it near the surface in annual amounts running to many tons to the acre in the most favorable areas. At the same time, they draw quantities of organic matter contained in leaves and grass—as much as twenty pounds to the square yard in six months—down into the burrows, where they become part of the soil. Darwin's calculations showed that the toil of earthworms might produce a layer of soil from an inch to an inch and a half thick in a ten-year period. This is by no means all they do. Their burrows aerate the soil, keep it well drained, and aid the penetration of plant roots. And organic matter is broken down as it passes through their digestive tracts, so the soil is enriched by their excretory products.

What happens to the inhabitants of the soil when poisonous chemicals are carried down into their world, either introduced directly as soil "sterilants" or sprayed on crops or borne by rain that has picked up a lethal contamination as it filtered through the leaf canopy of forest and orchard and cropland? Is it reasonable to suppose that a so-called broad-spectrum insecticide can kill the burrowing larval stages of a crop-destroying insect without also killing the insects whose function may be the essential one of breaking down organic matter? Or can we use a non-specific fungicide in orchards without also killing the fungi that inhabit the roots of many trees and aid the tree in extracting nutrients from the soil? The plain truth is that this critically important subject of the ecology of the soil has been largely neglected even by scientists and almost completely ignored by control men. The chemical control of insects seems to have proceeded on the assumption that the soil could and would sustain any amount of insult without striking back. From the few studies that have been made, a picture of the impact of pesticides on the soil is slowly emerging. The studies are not always in agreement, for soil types vary enormously and what causes damage in one may be innocuous in another. Light, sandy soils suffer far more heavily than humus types, for example, and combinations of chemicals often seem to do more harm than separate applications. Despite the varying results, enough solid evidence of harm is accumulating to cause apprehension on the part of the scientists concerned.

Under some conditions, the chemical conversions and transformations that lie at the very heart of the living world are affected. For example, the herbicide 2,4-D causes a temporary interruption of nitrification. Recent experiments in Florida showed that three chlorinated hydrocarbons—heptachlor, BHC (benzene hexachloride), and lindane, which is an isomer of BHC—reduced nitrification after only two weeks in the soil; BHC and DDT had significantly detrimental effects a year after treatment. In other experiments, it was found that BHC, lindane, aldrin, heptachlor, and DDD all prevented nitrogen-fixing bacteria from forming the necessary root nodules on leguminous plants, and also that a curious but beneficial relation between fungi and the roots of higher plants was seriously disrupted. Sometimes the problem is one of upsetting that delicate balance of populations by which nature accomplishes far-reaching aims. Explosive increases in certain kinds of soil organisms have occurred when other kinds have been reduced by insecticides, disturbing the relation of predator to prey. Such changes could easily alter the metabolic activity of the soil and affect its productivity. They could also mean that potentially harmful organisms, formerly held in check, might take on the status of pests.

One of the most important things to remember about insecticides in soil is their persistence. Aldrin has been recovered after four years, both as traces and, more abundantly, as converted to dieldrin. Ten years after the application of toxaphene to sandy soil, enough remains to kill termites. BHC persists a least eleven years, and heptachlor at least nine. Chlordane has been recovered after twelve years. Seemingly moderate applications of insecticides over a period of years may build up fantastic quantities in soil. The legend that “a pound of DDT to the acre is harmless” means nothing if spraying is repeated. Potato soils have been found to contain up to fifteen pounds of DDT per acre, corn soils up to nineteen. A cranberry bog under study contained thirty-four and a half pounds to the acre. Soils from apple orchards seem to reach the peak of contamination, for the rate at which DDT accumulates here almost keeps pace with its rate of annual application. In a single season, if orchards are sprayed four or more times, DDT residues may amount to as much as fifty pounds to the acre. Arsenic provides a classic instance of the virtually permanent poisoning of the soil. Although since the mid-forties arsenic as a spray on growing tobacco has been largely replaced by the synthetic insecticides, the arsenic content of cigarettes made from American-grown tobacco increased more than three hundred per cent between the years 1932 and 1962. Dr. Henry S. Satterlee, an authority on arsenic toxicology, says that the soils of tobacco plantations are now thoroughly impregnated with arsenic residues in the form of a heavy and relatively insoluble poison, arsenate of lead. This will continue to release arsenic in soluble form. As Dr. Satterlee puts it, the soil of a large proportion of the land planted with tobacco has been subjected to “cumulative and well-nigh permanent poisoning.” Tobacco grown in the eastern Mediterranean countries, where arsenical insecticides are not used, has shown no such increase in arsenic content.

The question arises to what extent insecticides are absorbed into plant tissues from contaminated soils. Much depends on the type of soil, the crop, and the nature and the concentration of the insecticide. Soils high in organic matter release smaller quantities of poisons than others do. Carrots absorb more insecticide than any other crop studied; if the insecticide used happens to be lindane, carrots actually accumulate higher concentrations than are present in the soil. In the future, it may become necessary to analyze soils for insecticides before planting certain food crops. Otherwise, unsprayed crops may take up enough insecticide from the soil to render them unfit for market. This very sort of contamination has already created endless problems for at least one leading manufacturer of baby foods, who has been unwilling to buy any fruits or vegetables that have been exposed to insecticides. The chemical that caused him the most trouble was BHC, which is taken up by the roots and tubers of plants, and which advertises its presence by a musty taste and odor. Sweet potatoes grown in California fields where BHC had been used two years earlier contained residues, and the firm had to reject them. Another year, in which the firm had contracted for its total requirements of sweet potatoes with growers in South Carolina, so large a proportion of the acreage was found to be contaminated that the company was forced to buy in the open market, at a considerable financial loss. The manufacturer’s most stubborn problem has been with peanuts. In the Southern states, peanuts are usually grown in rotation with cotton, on which BHC is extensively used, and the peanuts pick up considerable amounts of the insecticide. Actually, only a trace is enough to give them the telltale musty odor and taste. The chemical penetrates the nuts and cannot be removed.

Sometimes the menace is to the crop itself—a menace as long-lasting as the insecticide contamination of the soil. Some insecticides affect sensitive plants such as beans, wheat, barley, and rye, retarding root development or inhibiting the growth of seedlings. The experience of the hop growers of Washington and Idaho is an example. During the spring of 1955, many of these growers undertook a large-scale program to control the strawberry-root weevil, whose larvae had become abundant on the roots of the hops. On the advice of agricultural experts and insecticide manufacturers, they chose heptachlor to do the job. Within a year after the heptachlor was applied, in both dust and spray forms, the vines in the treated yards were wilting and dying. In the untreated fields there was no

trouble; in fact, the damage stopped at the border between treated and untreated fields. The fields were replanted, at great expense, but the next year the new roots, too, were found to be dead. Four years later, the soil still contained heptachlor, and scientists were unable to predict how long it would remain poisonous, or to recommend any procedure for correcting the condition. The United States Department of Agriculture, which as late as March, 1959, had declared heptachlor to be acceptable for use on hops in the form of a soil treatment, thereafter belatedly withdrew its registration for such use. Meanwhile, the hop growers sought what redress they could in the courts.

In continuing to contaminate the soil, we are almost certainly headed for trouble. This was the consensus of a groups of specialists who met in 1960 at the College of Forestry of the State University of New York, in Syracuse, to discuss the ecology of the soil. These men summed up the hazards of using “such potent and little understood tools” as chemicals and radioactive substances: “A few false moves on the part of man may result in destruction of soil productivity and the arthropods may well take over.”

Water, soil, and the earth’s green mantle of plants make up the world that supports the animal life of the earth. Although modern man seldom remembers the fact, he could not exist without the plants that harness the sun’s energy and manufacture the basic foodstuffs he depends upon for life. Our attitude toward plants is a singularly narrow one. If we see any immediate utility in a plant, we foster it. If, for any reason, we find its presence undesirable, or even simply a matter of indifference, we may condemn it to destruction forthwith. Besides the various plants that are poisonous to man or his livestock, or crowd out food plants, many are marked for destruction merely because they happen to be in the wrong place at the wrong time, and many others are destroyed merely because they happen to be associates of the unwanted plants. Sometimes we have no choice but to disturb the relationships between plants and the earth, between plants and other plants, and between plants and animals, yet we should do so thoughtfully, with full awareness that what we do may have consequences remote in time and place.

One example of our unthinking bludgeoning of the landscape is to be seen in the sagebrush lands of the West, where a vast campaign has been launched to destroy the sage and substitute grass. If ever an enterprise needed to be illuminated with a sense of the history and meaning of the landscape, it is this one. For here the natural landscape is eloquent of the interplay of forces that have created it. It is spread before us like the pages of an open book, telling why the land is what it is, and why we should preserve its integrity. But the pages lie unread. The land of the sage is the land of the high Western plains and the lower slopes of the mountains that rise above them—a land born of the uplift of the Rocky Mountain system many millions of years ago. It is a place of harsh extremes of climate: of long winters when blizzards drive down from the mountains and snow lies thick on the plains, of summers whose heat is relieved only by scanty rains, with drought biting deep into the soil, and dry winds stealing moisture from leaf and stem. In the evolution of this landscape, there must have been a long period of trial and error as plants attempted the colonization of the high and wind-swept land. One after another must have failed. At last, a group of plants took root that combined all the qualities needed for survival. The sage—low-growing and shrubby—could maintain its hold on the mountain slopes and on the plains, and within its small gray leaves it could store moisture enough to defy the thieving winds. It was no accident but, rather, the result of long ages of experimentation by nature that the great plains of the West became the land of the sage.

Along with the plants, animal life was evolving in harmony with the searching requirements of the land. In time there were two animals as well adjusted to their habitat as the sage. One was a mammal, the fleet and graceful pronghorn antelope. The other was a bird, the sage grouse—the “cock of the plains” of Lewis and Clark. The sage and the grouse seem made for each other. The range of the

bird coincides with the range of the sage, and the sage is all things to these birds of the plains. The low sage of the foothill ranges shelters their nests and their young; the denser growths are loafing and roosting areas; at all times the sage provides the staple food of the grouse. Yet it is a two-way relationship. The spectacular courtship displays of the cocks help loosen the soil beneath and around the sage, aiding invasion by grasses that can grow in the shelter of the sagebrush. The antelope, too, have adjusted their lives to the sage. Though some of them summer in the mountains, they are primarily animals of the plains, and in winter, when the first snows come, they all seek the lower elevations. There the sage provides the food that tides them over the winter. Where all other plants have shed their leaves, the gray-green leaves of the sage—bitter, aromatic, rich in proteins, fats, and needed minerals—cling to the stems of the densely growing plants. Though the snows pile up, the tops of the sage remain exposed, or can be reached by the sharp, pawing hoofs of the antelope. Then grouse feed on them, too, finding them on bare and windswept ledges or following the antelope to spots where they have scratched away the snow. Other life also looks to the sage. Mule deer often feed on it. Sage may mean survival to winter-grazing livestock. Sheep graze many winter ranges where the big sage brush forms almost pure stands. For half the year, it is their principal forage, and it is a plant of higher energy value than even alfalfa hay.

The upland plains, the purple wastes of sage, the wild, swift antelope, and the grouse are then a natural system in perfect balance. Or, rather, in many places, there was such a balance. In recent years, the land-management agencies have set about satisfying the insatiable demands of the cattlemen for more grazing land. By this they mean grassland—grass without sage. Few seem to have asked whether grassland is a stable and desirable goal in the region. Certainly nature's own answer was no. The annual precipitation in this land is not enough to support good sod-forming grass; rather, it favors the bunch grass that grows in the shelter of the sage. Yet millions of acres of sagebrush lands are sprayed each year. What are the results? The long-term effects of eliminating sage and seeding with grass are largely conjectural. Men of long experience in the ways of the land say that in this country there is better growth of grass between and under the moisture-holding sage than can possibly be had in pure stands. But even if the program succeeds in its immediate objective, it is clear that the whole closely knit fabric of life is being ripped apart. The antelope and the grouse will disappear, along with the sage. Even the livestock, which are the intended beneficiaries, will suffer; no amount of lush green grass in summer can help the sheep starving in the winter storms for lack of the sage and bitter brush and other wild vegetation of the plains. These are the first and obvious effects. Others are of the kind that is always associated with the shotgun approach to nature: the spraying also eliminates a great many plants that were not its intended target. Justice William O. Douglas, in his recent book "My Wilderness: East to Katahdin," has told of an example of ecological destruction wrought by the Forest Service in the Bridger National Forest, in Wyoming. Yielding to the pressure of cattlemen for more grassland, the Service sprayed some ten thousand acres of sage lands. The sage was killed, as was intended. But so was a green, life-giving ribbon of willows that traced its way across these plains, following the meandering streams. Moose had lived in these willow thickets, for willow is to the moose what sage is to the antelope. Beavers had lived there, too, feeding on the willows, felling them, and making strong dams across the tiny streams. Through the labor of the beavers, a lake backed up. Trout in the mountain streams were seldom more than six inches long; in the lake they thrived so prodigiously that many grew to five pounds. Waterfowl were attracted to the lake. But with the "improvement" instituted by the Forest Service, the willows went the way of the sagebrush, killed by the same, impartial spray. When Justice Douglas visited the area in 1959, the year of the spraying, he was shocked to see the shrivelled and dying willows—the "vast, incredible damage." What would become of the moose? Of the beavers and the little world they had constructed? A year later, he returned to read the answers in the devastated landscape. The moose were gone, and so were the beavers. The principal beaver dam had gone out for want of attention by its skilled architects, and the lake had drained away. None of the large trout were left, for

none could live in the tiny creek that remained, threading its way through a bare, hot land.

Besides the more than four million acres of range lands sprayed each year, large areas of other types of land are potential or actual recipients of chemical treatments for weed control. For example, in the United States an area larger than all of New England—some fifty million acres—is under the management of utility corporations, and much of it is routinely treated for “brush control.” In the Southwest, an estimated seventy-five million acres of mesquite lands require management by some means, and chemical spraying is the method most actively pushed. An unknown but very large acreage of timber-producing lands is now aerially sprayed for the purpose of “weeding out” the hardwoods from the more spray-resistant conifers. Added to these are an estimated fifty-three million acres of agricultural lands, perhaps two million acres of non-crop lands, and countless private lawns, parks, and golf courses, the combined acreage of which must reach an extremely large figure. And besides all this, there are our roadsides.

Roadside brush control is practiced in all parts of the country, with the object of eliminating plants that ultimately grow tall enough to obstruct drivers’ vision or to interfere with wires on rights of way. This is a legitimate object, but as roadside spraying is commonly carried out, it has many undesirable side effects. One of them is economic. The town fathers of a thousand communities lend willing ears to the chemical salesmen and the eager contractors who will rid their roadsides of “brush.” Spraying, they are told, is cheaper than mowing. So, perhaps, it appears in the neat rows of figures in the official books, but were the true cost entered, the wholesale broadcasting of chemicals would be seen to be far more expensive, both in dollars and in the infinite damage it does. Take, for example, a commodity that is prized by every chamber of commerce throughout the land—the good will of vacationing tourists. There is a steadily growing chorus of outraged protest at the disfigurement of once beautiful roadsides by chemical sprays. “We are making a dirty, brown, dying-looking mess along the sides of our roads,” a New England woman wrote angrily to her local newspaper last fall. “This is not what the tourists expect, with all the money we are spending advertising the beautiful scenery.” In the summer of 1960, conservationists from many states converged on a beautiful Maine island to witness its presentation to the National Audubon Society by its owner, Millicent Todd Bingham. The focus that day was on the preservation of the natural landscape, with its intricate web of life whose interwoven strands lead from microbe to man. But in the background of all the conversations among the visitors to the island was indignation at the despoiling of the roads they had travelled to reach it. Once, it had been a joy to follow those roads through the evergreen forests—roads lined with bayberry and sweet fern, alder and huckleberry. Now all was brown desolation. One of the conservationists wrote of that summer pilgrimage, “I returned. . . angry at the desecration of the Maine roadsides. Where, in previous years, the highways were bordered with wild flowers and attractive shrubs, there were only the scars of dead vegetation for mile after mile. . . . As an economic proposition, can Maine afford the loss of tourist good will that such sights induce?”

Botanists at the Connecticut Arboretum, in New London, declare that the elimination of beautiful native shrubs and wild flowers has reached the proportions of a “roadside crisis.” Azaleas, mountain laurel, blueberry, huckleberry, viburnum, dogwood, hayberry, sweet fern, low shadbush, winterberry, chokecherry, and wild plum are dying under the chemical barrage. So are the daisies, the black-eyed Susans, the Queen Anne’s lace, the goldenrod, and the fall asters. In the spring of 1957, trees within the Connecticut Arboretum Natural Area were seriously injured when the town of Waterford sprayed the roadsides with chemical weed killers. Even large trees not directly sprayed were affected. The leaves of the oaks began to curl and turn brown, although it was the season for spring growth. Then new shoots appeared, and these grew with abnormal rapidity, giving a “weeping” appearance to the trees. Two seasons later, large branches on some of these trees had died, other branches were without leaves, and the deformed, weeping effect of whole trees persisted.

I know well a stretch of road where nature's own landscaping once provided a border of alder, viburnum, sweet fern, and juniper, with seasonally changing accents of bright flowers, and of fruits hanging in jewelled clusters in the fall. The road had no heavy load of traffic to support, and there were few sharp curves or intersections where brush could obstruct the driver's vision. Nevertheless, the sprayers took over, and the miles along that road became something to be traversed quickly, a sight to be endured with one's mind closed to thoughts of the sterile and hideous world we are letting our technicians make. Here and there, though, authority had faltered, and by an unaccountable oversight there were oases of beauty—oases that made the desecration of the greater part of the road the more unbearable. In such places, my spirit lifted to the sight of the drifts of white clover or the clouds of purple vetch, with here and there the flaming cup of a wood lily. Such plants are “weeds” only to those who make a business of selling and applying weed killers.

There is, of course, more to the wish to preserve our roadside vegetation than aesthetic considerations. In the economy of nature, the natural vegetation has its essential place. Hedgerows along country roads and the edges of fields provide food, cover, and nesting areas for birds and homes for many small animals; indeed, of some seventy species of shrubs and vines that are typical roadside species, about sixty-five are important to wildlife as food. Such vegetation is also the habitat of wild bees and other pollinating insects. Man is more dependent on these wild pollinators than he usually realizes. Even the farmer seldom understands the value of wild bees, and often participates in measures that rob him of their services. Not only many wild plants but some agricultural crops are partly or wholly dependent on the services of the native pollinating insects; several hundred species of wild bees take part in the pollination of cultivated crops—a hundred species visiting the flowers of alfalfa alone. Moreover, in the absence of insect pollination, most of the soil-holding and soil-enriching plants of uncultivated areas would die out, with far-reaching consequences for the ecology of the whole region. A great variety of herbs, shrubs, and trees of our forests and ranges depend on native insects for their reproduction, and without these plants many wild animals and much range stock would find little food. Now “clean” cultivation and the chemical spraying of hedgerows and weeds, including some of those that bees depend upon heavily for food, are eliminating the last sanctuaries of these pollinating insects and thereby breaking the threads that bind life to life. The bees, so essential to our agriculture and indeed to our landscape as we know it, deserve something better from us than the senseless destruction of their habitat.

Ironically, the all-out chemical assault perpetuates the problems it seeks to correct. Ragweed, the bane of hayfever sufferers, offers an interesting example of the way efforts to control nature sometimes boomerang. Many thousands of gallons of chemicals have been discharged along roadsides in the name of ragweed control, but the unfortunate truth is that blanket spraying is resulting in more ragweed, not less. Ragweed is an annual; each year its seedlings require open soil in order to become established. Our best protection against this plant is therefore the maintenance of dense shrubs and ferns and other perennial vegetation. Spraying destroys this protective vegetation and creates open, barren areas, which the ragweed hastens to fill.

Just as ironically, some spraying actually creates new problems. The chemical 2,4-D, by killing out the broad-leaved plants, allows the grasses to thrive, and now some of the grasses themselves have become “weeds,” presenting a new problem of control and giving the cycle another turn. This situation is acknowledged in a recent issue of a technical journal devoted to crop problems, which notes that “with the widespread use of 2,4-D to control broad-leaved weeds, grass weeds in particular have increasingly become a threat to corn and soybean yields.”

We persist in this inefficient approach despite the fact that a perfectly sound method of selective

spraying is known, which can achieve long-term vegetational control and eliminate repeated spraying of most types of vegetation. Selective spraying was developed by Dr. Frank Egler, a plant ecologist who was for some years associated with the American Museum of Natural History and who is the chairman of a Committee for Brush Control Recommendations for Rights of Way. The method he devised takes advantage of the fact that the best and cheapest controls for vegetation are not chemicals but other plants. Trees find it difficult to gain a foothold in a community of shrubs, and on roadsides most shrubs, and all ferns and wild flowers, are low enough to present no hazard to drivers and no obstruction to wires. Selective spraying, in contrast to blanket spraying, is directed only at trees and exceptionally tall shrubs, the poison being applied at the base. (Cutting down a tree is seldom a permanent solution, because many trees will grow again.) One spraying may be sufficient to eliminate such trees and shrubs, with a possible followup for extremely resistant species; thereafter the shrubs assert control and the trees do not return. Dr. Egler has under observation shrub communities that have remained stable, without return of trees, for a quarter of a century after selective spraying. The spraying can often be done by men on foot, with knapsack sprayers, which give them complete control over their material. Sometimes tanks and compressor pumps can be mounted on truck chassis, but there is still no blanket spraying. The integrity of the environment is thereby preserved, the enormous value of the wildlife habitat remains intact, and the beauty of shrub and fern and the rest of the roadside growth has not been sacrificed. The method of vegetation management by selective spraying has been adopted by the authorities in some areas. All other considerations aside, when more taxpayers understand that the bill for spraying the town roads should come due only once a generation instead of once a year, they will surely rise up and demand a change of method.

The chemical pesticides are a bright new toy. They sometimes work in a spectacular way, giving those who wield them a giddy sense of power over nature, and as for the failures and the long-range undesirable effects, these are dismissed as the baseless imaginings of pessimists. Disregarding the whole record of contamination and death, we continue to spray, and to spray indiscriminately. We proceed as if there were no alternative, even though there are alternatives, such as biological controls and selective spraying, which have been effective in many places. As Dr. C. J. Briejèr, a Dutch scientist of rare understanding, has put it, "We are walking in nature like an elephant in the china cabinet."

(This is the first of a series of three articles.)