
De dag van de treksprinkhanen

Het is 1991. We zitten met zijn tweeën aan Steve's computer in zijn werkkamer in het Natuurhistorisch Museum van de Universiteit van Oxford – de plek waar in 1860 het 'grote debat' over de darwiniaanse evolutie werd gehouden tussen Thomas Henry Huxley en de bisschop van Oxford, Samuel Wilberforce. Die legendarische ontmoeting wordt vooral herinnerd vanwege een verhitte woordenwisseling waarin Wilberforce Huxley, die als Darwins 'bulldog' bekendstond, gevraagd zou hebben wie van zijn grootouders van apen afstamde. Huxley zou hebben geantwoord dat hij er geen bezwaar tegen had een aap als voorouder te hebben, maar dat hij zich ervoor zou schamen als hij familie was van iemand die zijn grote gaven gebruikte om er de waarheid mee te verdoezelen.

We hadden juist het grootste voedingsexperiment voltooid dat we ooit hadden ondernomen. De studie betrof treksprinkhanen, een speciaal type sprinkhaan en zoals we hieronder zullen uitleggen, het ideale diertje voor onze studie.

We konden niet bevroeden dat nog vóór onze sessie van die dag voorbij was, de zaden van een nieuwe benadering van de voeding, een benadering die zwaar leunde op Darwins evolutietheorie, gezaaid zouden zijn.

We wilden antwoord geven op twee vragen. Eén: nemen dieren een beslissing over wat ze moeten eten op basis van wat het beste voor ze is? En twee: wat gebeurt er als ze er om de een of andere reden niet in slagen dat dieet te volgen en in plaats daarvan iets anders moeten eten?

Je begrijpt dat de antwoorden op deze vragen van enig belang kunnen zijn.

In het lab waren heel zorgvuldig vijftintig soorten voedsel klaargemaakt, die moesten verschillen in de verhouding tussen eiwitten en koolhydraten, de twee belangrijkste voedingsstoffen die door plantenetende insecten als sprinkhanen worden geconsumeerd. Het voedsel ging van eiwitrijk/koolhydraatarm (een beetje als in vlees) naar koolhydraatrijk/eiwitarm (meer als in rijst) en alles ertussenin.

Ondanks hun verschillende samenstelling zagen alle soorten eten er bijna hetzelfde uit: ze waren droog en korrelig, een beetje als cake-mix voor je er vloeistof bij gooit. De insecten leken het lekker te vinden.

De mengsels werden aan de sprinkhanen opgediend, die er allemaal van mochten eten zoveel ze maar wilden, maar alleen van dat ene mengsel dat ze kregen, totdat ze begonnen te vervellen om volwassen te worden. Dit nam afhankelijk van de voeding op zijn minst negen dagen en maximaal drie weken in beslag. Logistiek gezien was het een hele uitdaging om nauwgezet vijftintig verschillende soorten voer klaar te maken, een daarvan te voeren aan elk van de tweehonderd insecten, en daarna heel nauwkeurig te meten hoe-

veel elk afzonderlijk insect ervan per dag naar binnen had gewerkt.

Tijdens het experiment brachten we, zo voelde het althans, eindelijk uren door in de ingewanden van de afdeling Zoölogie, een krappe, vochtige kamer die werd verwarmd tot 32 graden Celsius – een temperatuur waarop woestijnbewonende sprinkhanen goed gedijen maar die een menselijke vriendschap aardig op de proef kan stellen. Muziek hielp – we bleven geestelijk op de been dankzij John Cale en Talking Heads. Elke sprinkhaan woonde in zijn eigen plastic doos, met een metalen verhoging om op te gaan zitten, een klein schaalpje met het toegewezen voedsel tot op een tiende van een milligram afgewogen, en een schaalpje water.

Iedere dag moesten we het etensschaalpje van elke sprinkhaan weghalen en als miniatuurrioolwerkers alle eventuele korrels sprinkhanenpoep uit het etensschaalpje en de doos verwijderen. We maten hoeveel er gegeten en verteerd was, door de voedingsschaalpjes voor en na het voeren te wegen en door de uitwerpselen te analyseren. Elk voedingsschaalpje moest in een *desiccator* worden gestopt om al het vocht te laten opdrogen en werd vervolgens opnieuw gewogen op een verzameling elektronische weegschalen die een verandering tot op een honderdduizendste gram nauwkeurig kon detecteren. Door het verschil in gewicht van het schaalpje voor en na het voeren te meten, berekenden we hoeveel het insect die dag had gegeten en daaruit konden we precies vaststellen hoeveel eiwitten en koolhydraten het had geconsumeerd.

Dit deden we dag in dag uit bij alle tweehonderd treksprinkhanen, totdat ze met succes waren verveld tot gevleugelde volwassen insecten, of daarvoor waren doodgegaan. We hielden bij hoeveel dagen daaroverheen gingen, wogen het diertje en analyseerden hoeveel vetweefsel en hoeveel mager weefsel er gegroeid was.

En toen, eindelijk, zaten we naast elkaar aan Steve's computer, en stonden op het punt om de resultaten van het experiment te bekijken. Om de resultaten te begrijpen moeten we treksprinkhanen eerst eens bezien in hun natuurlijke context. Ze zijn tenslotte niet

geëvolueerd in een laboratorium in de kelder van Oxford. En zoals we door het hele boek laten zien, begint voeding pas zinnig te worden als je de biologische context begrijpt waarbinnen de soort is geëvolueerd, ook die van ons.

Twee jeugdige treksprinkhanen, ergens in Noord-Afrika.

De een is in haar eentje opgegroeid. Het heeft plaatselijk al maanden niet geregend. Ze heeft een prachtige groene kleur, waardoor ze helemaal kan opgaan in de vegetatie. Ze leeft solitair, is verlegen en andere sprinkhanen schrikken haar af. Daar is een goede reden voor: één sprinkhaan kan zich verstoppen; grotere groepen kunnen rekenen op ongevraagde aandacht van hongerige vogels, hagedissen en jagende spinnen.

Elders is nog een treksprinkhaan, die opgroeide in een menigte. Het heeft niet lang geleden geregend en ze wordt in groten getale vergezeld door soortgenoten die zich tegoed doen aan de uitbundige vegetatie. Ze is een feestbeest – felgekleurd, erg actief, dat zich voelt aangetrokken tot groepen. Deze verzamelingen vormen grote marcherende parades en als ze eenmaal verveld zijn tot gevleugelde, volwassen insecten worden het vliegende zwermen die zich over uitgestrekte gebieden in Afrika en Azië verplaatsen. Een woestijnsprinkhanenplaag in Noord-Afrika kan honderden miljarden insecten omvatten en binnen één enkele dag evenveel verslinden als de gehele bevolking van New York in een week. Als ze zich in agrarisch gebied begeven, vormen ze een allesverslindende kracht (treksprinkhanen, niet New Yorkers).

De twee treksprinkhanen zijn geen exemplaren van afzonderlijke soorten (zoals oorspronkelijk werd gedacht) – ze zouden zelfs zussen van elkaar kunnen zijn. Elk van hun soort kan zich potentieel ontwikkelen tot ofwel een verlegen, groene sprinkhaan, of een extravert, felgekleurd kuddedier, afhankelijk van of ze alleen opgroeien of in een grote groep. Het proces waarin ze van de ene in de andere vorm veranderen verloopt snel. Als je de eenzame

groene sprinkhaan oppakte en haar in een menigte plaatste, zou ze binnen een uur door andere treksprinkhanen aangetrokken worden, in plaats van afgestoten. Enkele uren later zou ze meelopen in de mars. Het duurt niet lang of ze verandert van groen naar felgekleurd.

Deze overgang staat bekend als *dichtheidsafhankelijke gedragsfaseverandering* en de onderzoeksgroep van Steve heeft vele jaren gestopt in een poging dit fenomeen te begrijpen.

Een van de vragen die ons aan het begin bezighielden, was deze: wat is het bijzondere aan in een menigte zitten, dat de verandering in gang zet? Welke prikkels zenden andere treksprinkhanen uit die het zetje geven naar de overgang? Zou het zijn hoe ze eruitzien, hoe ze ruiken, het geluid dat ze maken?

Wat we ontdekten is dat aanraking cruciaal is. Als er een beperkt aanbod van geschikte, eetbare planten is, zien solitaire treksprinkhanen zich gedwongen dichter bij elkaar in de buurt naar voedsel te zoeken dan ze graag zouden willen. De verzamelde insecten stoten tegen elkaar aan en dit fysieke contact veroorzaakt de verandering van afstoting naar aantrekking.

Als er eenmaal genoeg kuddedier-treksprinkhanen bij elkaar zijn gekomen, komt de hele groep plotseling, alsof ze alle maar één gedachte hebben, collectief in beweging en beginnen ze te marcheren.

We ontdekten dat de collectieve beslissing om te beginnen met marcheren binnen een menigte ontstaat vanuit eenvoudige plaatselijke interacties tussen treksprinkhanen. Met andere woorden, er bestaat geen treksprinkhanenleider of hiërarchie. Het marcheren begint omdat de treksprinkhanen allemaal één simpele regel volgen: beweeg als je burens. Als er eenmaal een kritische treksprinkhanendichtheid is bereikt, zal het toevoegen van nog een of twee insecten plotseling de overgang naar een collectieve, gecoördineerde beweging in gang zetten. De vreselijke mars is begonnen.

Uiteraard begrepen we nog steeds niet *waarom* treksprinkhanen

de simpele regel zouden moeten volgen om net zo te bewegen als de buren. We vermoedden dat voeding een rol kon spelen – zoals dat voor de meeste dingen geldt. Het antwoord kwam uit onze studie naar een verwant dier, de mormonenkrekkel, en hun motief bleek behoorlijk sinister te zijn.

De mormonenkrekkel is een groot, niet-vliegend insect, gebouwd als een kleine tank, die leeft in het zuidwesten van de Verenigde Staten en ontzagwekkende, kruipende zwermen vormt die zich over kilometers kunnen uitstrekken. Hun naam danken ze aan het feit dat ze de eerste gewassen begonnen te verwoesten die mormoonse pioniers hadden aangeplant, nadat die in 1848 bij het Salt Lake waren aangekomen. De mormoonse gemeenschap stond machteloos tegenover de verwoesting en liep het gevaar de hongerdood te sterven, tot op het nippertje een zwerm zeemeeuwen hun te hulp kwam, door de krekels op te vreten. Bij de Tempel in Salt Lake City staat ter herinnering aan deze gebeurtenis een monument voor de meeuwen. De zeemeeuw is de officiële vogel van de staat Utah (opmerkelijk, aangezien de staat geheel door land omgeven wordt, maar meeuwen weten de weg naar elke grote watermassa wel te vinden).

Steve zat in Utah, waar hij met zijn collega's Greg Sword, Pat Lorch en Iain Couzin zwermen mormonenkrekels bestudeerde, toen ze ontdekten waarom de krekels plotseling allemaal tegelijk aan de wandel gingen. Zoals Steve het uitlegt: 'We zaten in een motel voor vrachtwagenchauffeurs en aten junkfood dat we wegspoelden met Polygamy Porter, een donker bier uit de staat (met de slogan: 'Waarom maar eentje?'). De krekels waren in groten getale op pad. Greg en Pat hadden met radiosignalen enorme groepen getraceerd die zich tot wel twee kilometer per dag voortbewogen door het schitterende alsemlandschap.

Hier kregen we een aanwijzing waarom al die krekels migreerden. We maakten opnamen van één enkele groep die vijf dagen achtereen een grote doorgangsweg overstak. Als ze door auto's werden

platgereden stopten de krekels die achter ze liepen en vraten de lijken op. En werden op hun beurt door auto's platgereden. Het duurde niet lang of de smurrie was een enkel diep, zodat sneeuwruimers de vettige ellende moesten opruimen.

Maar waarom zouden herbivore insecten elkaar zo gretig opeten, dat het zelfs een massale zelfmoord tot gevolg had? Met zoveel begroeiing om hen heen was er tenslotte genoeg voedsel.

We hadden op onze tocht naar de woestijn hetzelfde droge, poederige voer meegenomen dat we in onze grote treksprinkhanenstude in Oxford hadden gebruikt, en we zetten er schaalmpjes van neer voor de marcherende krekels uit.'

Het resultaat was onthullend. De krekels negeerden de schaalmpjes met een hoge koolhydrateninhoud maar hielden halt bij de schaalmpjes met eiwit.

En wat was voor die krekels, behalve ons kleine buffet, de dichtstbijzijnde bron voor hoogkwalitatieve eiwitten? Dat was de krekkel die voor ze liep. Wat de mars naar voren dreef was simpel: als je niet vooruit blijft lopen als je burens achter je dat doen, dan vreten ze je op. Maar als het schepsel vóór je stopt, kun je dat natuurlijk als maaltijd beschouwen. Het krekelkannibalisme werd ingegeven door een krachtige trek – in eiwitten.

We ontdekten ook dat de gewoonten van treksprinkhanen even gruwelijk kunnen zijn als het om de honger naar die voedingsstof gaat. Daar kwamen we onbedoeld achter toen Steve de signalen probeerde te onderzoeken die treksprinkhanen tijdens een maaltijd vertellen dat ze vol zitten. In een experiment had hij heel precies de zenuwen die prikkels van het uiteinde van het achterlijf van de insecten naar hun hersenen doorsturen, doorgesneden. Na de operatie zette hij alle sprinkhanen in dezelfde doos om bij te komen. Toen Steve de volgende ochtend een kijkje nam, zag hij dat geen van de sprinkhanen onder het punt waar de zenuw was doorgesneden nog een lijf overhad. De insecten hadden een soort madeliefjesketting gevormd en het abdomen van de sprinkhaan voor ze (die daar niets van voelde)

opgepeuzeld, terwijl hun eigen verdoofde abdomenen door de sprinkhaan achter hen werd opgevreten.

Welk dier zou geschikter zijn om belangrijke nieuwe ideeën uit de voedingswetenschap op uit te proberen? Als er één soort was waarvan je kon verwachten dat hij gulzig was en zoveel mogelijk zou eten van elk soort voer dat hem maar werd voorgezet, dan was het wel de vraatzuchtige zwermende treksprinkhaan. Maar we wisten ook dat treksprinkhanen niet zulke simpele zielen zijn – ze kunnen reguleren hoeveel voedingsstoffen ze tot zich nemen, zelfs als ze daarvoor hun bueren moeten opeten. Wat zouden de resultaten van ons grote experiment laten zien?

Voordat we daaraan toekomen, geven we eerst een korte basis-cursus voedingsstoffen.

HOOFDSTUK I IN EEN OOGOPSLAG

1. We begonnen onze reis met het beschrijven van een experiment met treksprinkhanen, dat de aanzet gaf tot een nieuwe benadering van de studie naar voedingsstoffen.
2. We ontdekten dat een behoefte aan eiwitten de drijfveer is achter de reputatie van treksprinkhanen als plaag en gesel van de landbouw.
3. Zou een trek in eiwitten ook elders in het dierenrijk zo'n belangrijke rol spelen? Zelfs voor ons?

Calorieën en voedingsstoffen

Laten we, aangezien voeding zo hels ingewikkeld is, eens een simpele vraag stellen: waarom moeten we eten?

Eten is vandaag de dag zeker de bron van een hoop verwarring en onrust, wat erg jammer is aangezien eten ook een bron is van zoveel goeds – meer dan goeds. Voedsel verbindt ons in maatschappelijk en cultureel opzicht. Het geeft veel genoeg en biedt tegelijkertijd de energie waar het leven zelf van afhankelijk is.

Energie is het bekendste element van de dingen die we uit voeding nodig hebben. Er gaat geen dag voorbij of we zien allerlei getallen op voedingswaren en maaltijden staan, en inmiddels zelfs op menu's – als wiskundige graffiti die vertelt hoeveel energie het bevat, samen met strenge dieetrichtlijnen die ons waarschuwen hoeveel we

ervan zouden moeten eten. Uiteraard gebruiken de etiketten het woord *energie* niet. Je bent vast meer vertrouwd met het woord *calorieën*.

Maar wat is een Calorie (met de hoofdletter C) precies?

Het is simpelweg een eenheid energie – één enkele Calorie is de hoeveelheid energie die je nodig hebt om de temperatuur van 1 kilo (wat gelijk staat aan 1 liter) water met 1 graad Celsius op te warmen van 14,5 naar 15,5 graden Celsius. Inderdaad, misschien een heel rare eenheid als je je nog nooit hebt afgevraagd hoeveel eten er nodig is om een badkuip met water op te warmen. Maar de meeteenheid is rigoureuus en precies en daar houden we als wetenschappers van. Vandaar dat iedereen het met Calorieën moet doen, ook als het moeilijk is om die voor je te zien.

Om de zaken nog verder te verwarren kun je Calorieën ook als kilocalorieën (kcal) schrijven. Dat komt omdat 1 Calorie (met hoofdletter C) gelijkstaat aan 1000 calorieën (kleine letter c). Mogelijk heb je ook wel eens gezien dat de energie-inhoud van eten is weergegeven in kJ – kilojoules, een eenheid die we als wetenschappers naast kcal vooral gebruiken. Deze eenheden hebben een nog vreemdere definitie: 1 kJ is de energie die je nodig hebt om een gewicht van 1 kilogram met een kracht van 1 Newton (die zelf een eenheid is voor het meten van zwaartekracht) over een afstand van 1 meter te verplaatsen. Eén kilojoule staat (om precies te zijn!) gelijk aan 0,239006 Calorie.

In dit boek zullen we wanneer we het hebben over energie-eenheden vooral 'kcal' gebruiken, maar in gevallen waarin we wetenschappelijke resultaten presenteren, gebruiken we 'kJ'. We gebruiken in algemene zin 'calorieën' met een kleine c als term voor 'energie'.

Dit betekent dat we de energie van voedingsmiddelen vaststellen op basis van haar theoretische vermogen om iets in gang te zetten – het verwarmen van water of het bewegen van gewichten.

Met uitzondering van water bevatten alle voedingsmiddelen calorieën, en dat is maar goed ook, want zonder energie kan ons li-

chaam helemaal niets, inclusief gebruikmaken van dat andere belangrijke element dat we uit eten halen: voedingsstoffen. Energie is afkomstig uit de belangrijkste voedingsstoffen in ons dieet – de zogeheten macronutriënten – die elk scheikundig van elkaar verschillen. Als we die voedingsbrandstoffen eenmaal naar binnen gewerkt hebben – eiwitten, koolhydraten en vetten – worden ze afgebroken in kleinere moleculen die in onze cellen worden verbrand.

Macronutriënten leveren echter meer dan alleen energie. Eiwitten en hun bouwstenen, de aminozuren, leveren ook stikstof, waarmee ons lichaam andere belangrijke dingen maakt, waaronder hormonen, enzymen en de moleculen die informatie opslaan, het DNA en RNA. Als we geen eiwitten opnemen, leven we niet.

In de volksmond (en in veel dieetboeken) zijn vetten en koolhydraten bijna synoniem voor calorieën, maar ze zijn veel meer dan dat. Vetten vormen een isolatielaag tegen de kou, slaan vitamines op, smeren de huid en vormen een beschermend kussentje op de ogen en de gewrichten. Hun vetzuurbouwstenen vormen het membraan dat elke cel in ons lichaam omringt en speciale vetten met de naam *sterolen* dienen als boodschappers die de complexe scheikunde die ons in leven houdt, helpen coördineren.

We kunnen niet zonder vetten.

Onder koolhydraten vallen suikers, zetmeel en vezels. Net als eiwitten en vetten bestaan de meeste koolhydraten uit kleinere eenheden, in dit geval eenvoudige suikers als glucose en fructose. De voedingseigenschappen van verschillende koolhydraten hangen af van uit welke suikers ze bestaan en hoe ze aan elkaar geknoopt zijn. In de overvloedigst voorkomende koolhydraat op onze planeet – de cellulose van plantenvezels – zijn de glucose-eenheden zo strak aangeknoopt dat we ze niet kunnen verteren.

Glucose is met name zo belangrijk omdat het de belangrijkste koolhydraat is waar ons lichaam van afhankelijk is. Naast energie leveren werkt glucose samen met het stikstof dat uit eiwitten wordt gehaald om DNA en RNA te bouwen.