

# 웜 그런팅, 피들링, 그리고 매력-인간 무의식적으로 미끼를 수확하기 위해 포식자를 모방하 다

케네스 C. 카타니아\*

미국 테네시주 내슈빌 밴더빌트 대학교 생물과학부

## 추상

**배경:** 여러 세대 동안 플로리다의 아팔래치콜라 국유림과 그 주변의 많은 가족들은 큰 고유성 지렁이(Diplocardia mississippiensis)를 수집함으로써 스스로를 부양해 왔다. 이것은 진동에 의해 이루어진다. 흙으로 밀려 들어가는 나무 말뚝, "벌레 투덜거리는 것"이라고 불리는 관행. 진동에 대응하여, 벌레는 몇 시간 안에 수천 명이 모일 수 있는 표면으로 나타난다. 왜 이 지렁이들은 진동에 반응하여 갑자기 굴을 빠져나오나요? Ations, 포식에 노출되는 것?

**주요 결과:** 여기서 동부 아메리카 두더지(Scalopus aquaticus)의 개체군이 벌레가 수집되는 지역에 서식하고 있으며 지렁이는 뚜렷한 탈출구를 가지고 있다는 것을 보여준다. 토양 표면을 가로질러 도망치기 위해 굴을 빠르게 빠져나가는 두더지의 ponse. 미끼 수집기와 두더지에 의해 생성된 진동의 기록은 "웜 grunTERS"가 무의식적으로 파는 두더지를 모방한다는 것을 시사한다. 대안적인 가능성, 그 wOrms는 식사를 피하기 위해 진동을 비와 표면으로 해석한다. 지원되지 않는다.

**결론:** 이전 조사에 따르면 나무 거북이와 청어 갈매기 모두 땅을 진동하여 지렁이가 탈출을 유도하는 것으로 밝혀졌다. 다양한 포식자가 지렁이와 두더지 사이의 포식자-먹이 관계를 약화할 수 있다는 것을 지시한다. 토양 동물군 사이에 널리 퍼질 수 있는 새로운 탈출 반응을 드러내는 것 외에도, 그 결과는 인간이 'rar'의 역할을 했다는 것을 보여준다. 감각 준비 경쟁의 결과를 이용하는 포식자.

인용: 카타니아 KC (2008) 웜 그런팅, 피들링, 그리고 매력적인 - 인간은 무의식적으로 미끼를 수확하기 위해 포식자를 모방한다. PLoS ONE 3(10): e3472. doi:10.1371/journal.pone.0003472

편집자: 사라 프랜시스 브로스넌, 조지아 주립 대학교, 미국

2008년 6월 20일 접수; 2008년 9월 24일 접수; 2008년 10월 14일 발행

저작권: 2008 카타니아. 이것은 아래에 배포된 오픈 액세스 기사입니다. 원본 저자와 출처가 인정되는 경우, 모든 매체에서 무제한 사용, 배포 및 복제를 허용하는 크리에이티브 커먼즈 저작자 표시 라이선스의 조건.

기금: 국립 과학 재단 경력상 # 0238364, 맥아더 상 경쟁 이익: 저자는 경쟁 이익이 존재하지 않

는다고 선언했다.

\* 이메일: ken.catania@vanderbilt.edu

## 소개받은 사람

미국 남동부의 여러 지역에서, faMilies는 땅을 진동시킴으로써 지렁이를 수집하기 위한 전통적인 지식을 물려주었다. 이 기술은 웜 투덜거리기, 피들링, 코굴이, 그리고 매력적이라고 다양하게 불린다(이후 플로리다주 쉑피에서 열리는 연례 "웜

웜거림 축제" 이후 웜링이라고 불린다). 이 전략은 수공구나 때때로 전력 장비를 사용하여 인공 진동이 토양에 전달되는 다양한 방법으로 구성되어 있다. 체인 톱이지만 역사적으로 모델 T 포드가 사용될 수 있다). 회복으로 이러한 진동으로, 지렁이는 굴에서 빠져나와 쉽게 수집할 수 있다. 일반적으로 소규모 모로 낚시 미끼를 모으는 데 사용되지만, 이 기술은 플로리다의 Apalachicola National Fo에서 가장 높은 수준의 발전에 도달

한 것으로 보인다. 60년대와 70년대에 전체 미끼 산업이 발전하여 수천 명의 사람들이 추가 소득을 위해 벌레를 투덜거리거나 가족을 부양하는 주요 수단으로 투덜거렸다. 웜의 투덜음, 그리고 문자 그대로의 놀라운 결과수천 마리의 큰 벌레는 단 몇 시간 만에 수집될 수 있으며, 1972년에 전국 뉴스 보도를 끌었다 [1,2]. 아팔라치콜라 국유림의 지렁이 수집은 이후 산림청에 의해 면밀히 조사되었고 대규모 풍토병에 대한 우려에 따라 규제되었다. 지렁이는 과도하게 수확될 수 있다 (주로 디플로카르디아 미시시피엔시스 스미스 [3]). 이제 웜을 수확하고 vi를 생성하는 동력화 방법을 위해 연간 허가가 필요합니다. 브래션은 금지되어 있어.

진침로이 기술에 대한 유비쿼터스 지역 지식과 소규모 산업을 지원하기 위한 사용은 진동에 대한 지렁이의 행동 반응의 강도에 대한 증거이다. 그것은 분명히 벌레에게 위험한 행동이며, 반직관적인 것처럼 보인다. 인간 미끼 수집가에 관계없이 - 토양을 통해 뿌리를 내린 육상 지렁이 포식자는 지상 진동을 일으킬 수 있으며, 따라서 반대 반응(토양으로 더 깊이 이동)이 예측될 수 있다. 사실, 두 나무 거북이 모두 (클레미스 인스컬 프타르콘테) 그리고 청어 갈매기 (라루스 아르젠타투스 폰토 피단)은 떠오르는 지렁이를 잡기 위해 땅을 진동하는 것으로 보고되었다 [4,5]. 특정 표면 포식자가 없는 경우에도, 벌레가 그렇게 나타난다. 낮의 표면은 기회주의적 포식과 건조에 노출된다. 이것은 명백한 질문을 제기한다: 왜 지렁이는 진동에 반응하여 표면화되는가?

찰스 다윈은 지렁이에 대한 그의 작업에서 이 행동 반응에 대한 단서에 대해 논의했다 [6]. 그는 "땅이 두들겨 맞거나 떨어지면 벌레는 두더지에게 쫓기고 굴을 떠난다고 믿는다"고 말했다. 그리고 나중에 "그래도 불구하고, 벌레는 항상 땅이 있을 때 굴을 떠나지 않는다. 내가 그것을 때린 것으로 알고 있듯이, 떨리게 만들었다. 스페이드, 하지만 아마도 너무 격렬하게 맞았을 것이다. 벌레가 진동을 파는 두더지로 해석할 가능성은 벌레가 투덜거리는 것에 대한 몇 가지 인기 있는 설명에서도 제안되었다. 다윈의 설명은 때때로 인용되며 [7] 따라서 그 제안의 기원이 될 수 있다.

또한 지렁이가 강우로 인한 진동에 반응하고 먹사를 피하기 위해 굴에서 나올 수 있다고 제안되었다. 북미의 많은 지역에서, 장기간의 비가 내린 후 토양이나 포장 도로에서 지렁이를 보는 것이 일반적이며, 후자의 제안에 지지를 더한다. 또한 진동은 자연적으로 발생하는 위협에 대응하지 않고 탈출 반응을 이끌어낼 수 있는 새롭고 육적인 자극일 수 있는 것으로 보인다.

현재 조사의 목표는 다윈이 이야기한 바와 같이 첫 번째 가설을 테스트하는 것이었다 [6] - 일부 벌레는 두더지를 찾는 것을 피하기 위해 지상 진동에 대한 탈출 반응을 진화시켰다. 이 가능성을 고려할 때 많은 질문이 떠오른다. 예를 들어, 아팔라치콜라 국유림이 원산지인 큰 지렁이가 진동에 특히 강한 반응을 보인다는 점을 감안할 때, 두더지가 그 지역에 서식하니까? 두더지 포식이 지렁이에 미치는 잠재적인 영향은 무엇입니까? 즉, 얼마나 많은 귀가벌레는 두더지가 먹을 수 있나요? 폭풍우가 몰아치는 동안 지렁이가 터널을 빠져나오나요? 벌레가 젖은 토양에서 익사할 위험이 있나요? 벌레가 만든 진동은 파는 두더지의 진동과 어떻게 비교되나요? 지렁이는 파는 두더지에 어떻게 반응하나요?

이 질문들은 웜 투덜거림과 그 이후의 지렁이 반응에 대한 설명으로 시작하여, 아팔라치콜라 국유림에서 두더지 터널링과 분포에 대한 검사, 그리고 마지막으로 투자로 이어지는 일련의 연구와 관찰에 의해 다루어졌다. 지렁이가 비, 포화된 토양, 굴을 파는 두더지, 그리고 파는 두더지의 기록에 어떻게 반응하는지에 대한 gation. 결과는 국유림의 지렁이가 (디플로카르디아) 토양에서 빠르게 빠져나와 두더지에 반응한다. 표면을 가로질러 인간이 미끼를 모으기 위해 두더지로 인한 진동을 모방하는 법을 무의식적으로 배웠다고 제안한다. 예비 관찰에 따르면 다른 종의 지렁이도 진동을 감지하여 두더지에서 탈출할 수 있다. 이온과 두더지가 사료를 구하지 않는 토양 표면으로 빠져나간다.

## 결과 웜 그런팅

이 기술(국립 산림청 지렁이 수확 허가 번호 WAK40에 따라)에 대한 관찰과 설명이 가능해졌다. 거리와 오드리 레벨의 관대한 도움으로. 그들은 삶의 대부분 동안 이 방법을 사용하여 아팔라치콜라 국유림에서 지렁이를 수집해 왔으며 연례 Sopchoppy Worm Grunting Festival(그림 1)에서 매년 시연을 제공한다. 그 방법은 두 가지 도구가 필요하다: 나무 스토프, 또는 말뚝과 루핑 아이언, 또는 aut와 같은 긴 강철 조각오모빌 리프 스프링. 나무 말뚝은 크기와 모양이 다양하지만, 일반적으로 직경은 약 4~8cm, 길이는 30~60cm이다., 그들이 땅으로 밀려나갈 수 있도록 한쪽 끝의 조잡한 지점으로 가늘게 했다. 철은 또한 다양한 크기와 모양이지만, 보통 길이가 최소 40cm, 너비가 4~8cm, 나무 말뚝 위에 문질러질 수 있는 평평한 면적의 다양한 두께이다. G. 그림 1B).

말뚝이 땅으로 밀려난 후, 말뚝을 가로질러 철의 평평한 부분을 세로로 문지르면 진동이 발생한다(영화 S1 참조). 제대로

수행되면, 두 재료 사이의 마찰은 저주파를 유발한다. 토양을 통해 전파되는 ick-slip 진동은 동시에 이 기술에 이름을 부여하는 가청 '그룬팅' 소리를 생성한다. 각 스트로크와 그에 상응하는 진동은 일반적으로 1초 미만으로 지속되며 이것은 각 수집에서 여러 번 반복됩니다. Ing 사이트.

을 제공합니다. 5미터 거리에서 수직 방향 지오폰에서 기록된 진동에 대한 기술과 사운드 파일의 이온. 진동의 상대적인 크기는 거리에 따라 가파르게 떨어졌지만(그림 1D, E)에는 상당한 변화가 있었다. 숲 전체의 이질적인 토양 구조를 감안할 때 예상되는 바와 같이, 다른 장소에서 전파된 진동의 강도. 진동의 수평 구성 요소는 가장 강렬했다.

### Grunting에 대한 웜 반응

에 대한 응답으로 아팔래치콜라 국유림 내의 여러 장소에서 만들어진 진동으로, 수백 개의 큰 지렁이가 진동된 말뚝의 위치에서 최대 12미터 떨어진 곳에서 땅에서 빠르게 나타났다(그림 2). 출현 시, 각 벌레 토양 표면을 가로질러 여행하기 시작했다. 초기 출현으로부터 알려지지 않은 시간에 18마리의 웜의 움직임을 측정한 평균 속도는 약 30cm/분이었다. 진동 말뚝에 대한 움직임을 방향은 되다무작위로, 그리고 이것은 이후 다른 일련의 시험에서 확인되었다(아래 참조). 5개의 다른 위치에서 각 지렁이의 위치는 수집될 때 깃발로 표시되었고(그림 2B) 각 1에서 나타난 지렁이의 총 수는 스테이크의 미터 간격이 결정되었다. 그림 3A는 한 번의 시험에서 단일 사이트에서 수집된 262개의 지렁이의 완전한 분포를 보여준다. 떠오르는 벌레의 밀도는 거리가 증가함에 따라 지속적으로 감소했다(그림 3B). 벌레가 거의 없어 (5번의 시험에서 총 10번)은 스테이크에서 10미터 이상으로 나타났다.

지렁이가 진동 말뚝에 비해 특정 방향으로 여행했는지 여부를 결정하기 위해, 출현의 위치와 이동 방향은 52마리의 벌레에 대해 문서화되었다.

(그림 3C). 이 방향은 이후 스테이크에 대한 각도로 변환되었고(그림 3D) 중요한 방향 선호도는 발견되지 않았다(Rayleigh 테스트;  $P=0.261$ ,  $Z=1.35$ ).

대부분의 상황에서, 웜 투덜음의 목표는 떠오르는 지렁이를 빠르게 수집한 다음 추가 수집을 위해 다른 인접한 장소로 이동하기 위해. 하지만 지렁이는 수집되지 않으면 무엇을 하나요? 현재 조사 과정에서, 이 문제를 해결하기 위해 출현한 후 많은 지렁이가 관찰되었다. 수집되지 않은 웜은 어느 정도 거리를 여행한 후 땅으로 다시 파고들기 시작했다. 일반적으로, 벌레는 가장 빠른 속도로 여행하는 터널에서 나왔다. 그 후 몇 분 동안

시간이 지남에 따라 속도를 줄인다. En은 굴을 파기에 유리한 지역을 위해 토양을 조사하기 시작했다. 벌레가 택한 길은 꽤 직선적이었지만, 장애물(식물)은 종종 방향의 변화를 일으켰다. 이 순서는 5마리의 지렁이(그림 3E)와 전체에 대해 자세히 문서화되었다. 시퀀스는 그림 3F에서 두 개의 웜에 대해 설명되어 있다.

5마리의 굴을 파는 지렁이에 대한 정확한 시간이 기록되었지만, 토양으로 돌아가는 데 상당한 시간이 걸릴 수 있다는 것은 분명했다. 5마리의 벌레가 토양으로 완전히 사라지는 평균 시간은 49분이었다. 그러나 이 시간은 토양 조건에 따라 달라졌고, 일부 벌레는 10분도 채 걸리지 않았다(예: 그림 3F). 정오에 토양에서 나온 벌레는 가장 빨리 굴을 파기 시작했고, 건조하고 뜨거운 토양에 다시 들어가는 데 가장 오랜 시간이 걸렸지만, 벌레는 그것은 습한 땅에서 새벽에 나타났다. 가장 멀리 여행했고 가장 짧은 시간에 토양으로 돌아왔다. 벌레가 건조의 위험에 처해 있고 토양 표면의 상대적인 열과 수분 함량을 감지했다는 것은 분명해 보였다. 몇 가지 일어난 날에 나타난 ms (31년C) 그들이 없는 지역에서는 토양으로 돌아갈 수 없었다.

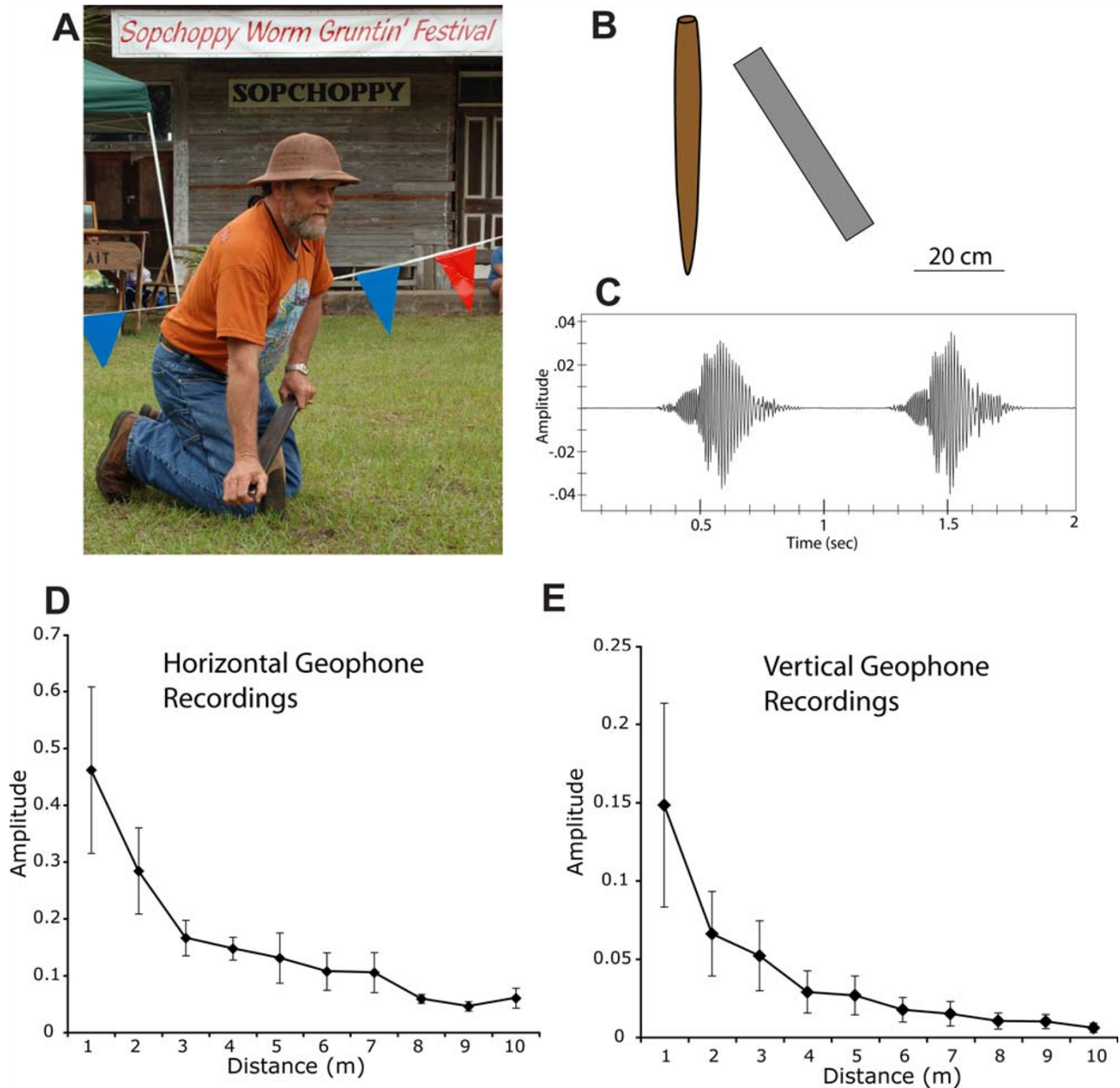


그림 1. 웜 투덜이는 것을 시연하고 묘사했다. A. 전문 미끼 수집가인 게리 레벨은 웜 그루를 시연한다. 2008년 4월 12일 Sopchoppy Florida에서 열리는 연례 Worm Grunting Festival에서. 미끼 수집 중 벌레가 투덜거리는 예는 영화 S1을 보세요. B. 이 기술은 나무 말뚝과 평평한 철 조각이 필요하다. 스테이크는 그루로 밀려났다. D와 철은 판 A에서와 같이 표면을 가로질러 묻지른다. C. 수직으로 만든 웜의 투덜쑥 진동의 2초 기록 5미터 거리의 지향 지오폰 (보충 오디오 파일 S1). T 동안 두 번의 스트로크가 만들어졌다. 2초, 각각 약 400밀리초 동안 지속된다. D, E. 진동 말뚝에서 연속적인 1미터 간격으로 기록된 진동의 상대적인 진폭. 단위는 임의적이지만 모든 기록 매개 변수는 연구 내내 일정했다. 인텐수평으로 기록된 진동(n = 5)은 수직으로 기록된 진동(n = 3)보다 강했다. 바는 표준 오류입니다.

평균. doi:10.1371/journal.pone.0003472.g001

죽기 전에. 몇몇 경우에, 벌레가 공격을 받았다. 개미, 뱀, 도마뱀 또는 딱정벌레에 의해, 토양으로 돌아가기 전에.

요약하자면, 미끼 수집기로 인한 진동에 대응하여, 수백 마리의 지렁이가 모든 방향으로 약 10미터 거리에서 굴에서 빠르

게 나타났다. 벌레는 최대 속도로 임의의 방향으로 토양 표면을 이동하기 시작했고, 시간이 지남에 따라 속도가 감소했고, 약 4-15분 후(온도와 습기에 따라) 토양으로 돌아가는 과정을 시작했다. 버이 과정은 습한 지역에서 약 10분 동안 지속되었다. 더 건조한 토양이 있는 지역에서 한 시간.



## 아팔래치콜라 국유림의 두더지

동부 미국 두더지 (스칼로푸스 아쿠아쿠스 린네s)는 미국 동부의 대부분에 살고 있으며 플로리다 팬핸들 [8]에서 발견된 유일한 두더지이다. 그 범위는 아팔라치콜라 국유림을 포함하지만, 숲의 경계 내에서 지역적 풍요로움에 대한 연구는 없었다. 따라서 초기

었다. 이 집계의 터널은 서로 적어도 100미터 떨어져 있었다., 별도의 두더지의 존재를 시사한다 [9-11, 그리고 개인적인 관찰].

풍토성 지렁이 개체군과 동부 두더지 사이의 중복에 대한 더 확실한 증거는 Revells를 다양한 수집 장소로 동반하는 동안 분명해졌다. 모든 장소에서, 벌레가 수집된 지역의 비교적 짧은



그림 2. 직장에서 게리와 오드리 레벨을 관찰하는 것. A. 진동에 대응하여, 지렁이는 굴을 빠져나간다. B. 벌레가 나타날 때 표시함으로써, 그들의 수와 분포가 결정되었다. 게리 레벨이 중심에 있다는 점에 유의하세요. 이미지와 지렁이는 그의 위치(깃발)에서 최대 12미터까지 나타났다. C. 오드리 레벨은 단지 2개의 스테이크 배치(약 500개의 웜)의 결과를 보여준다.

Doi:10.1371/journal.pone.0003472.g002

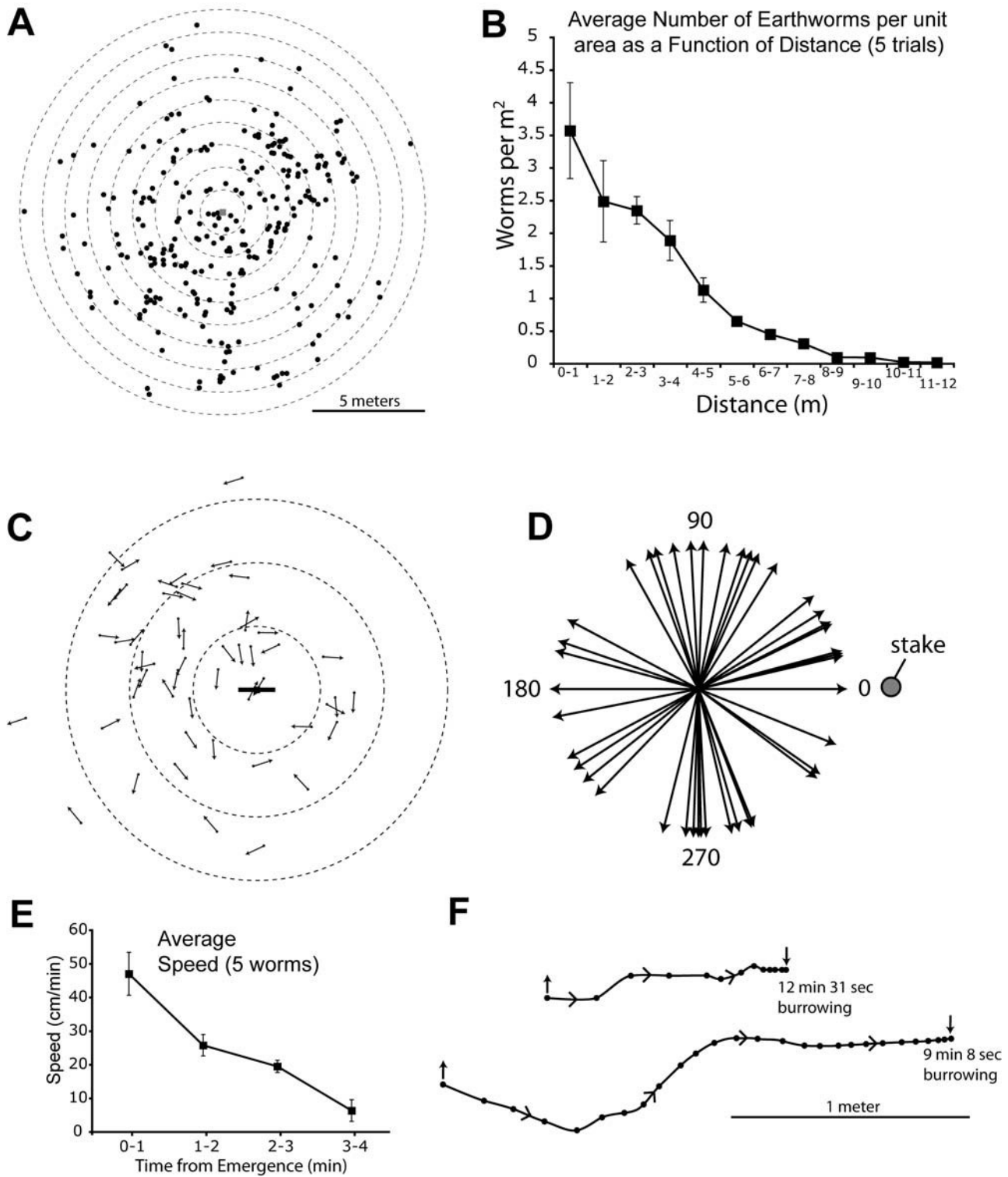
관찰은 s를 겨냥했다 숲 내에서 두더지 터널을 찾고 토양과 식물 조건에 접근하는 것을 암시한다. 하지만 이 연구의 시작부터 많은 인구가 s. 아쿠아쿠스 그 지역을 차지해. 이것은 멀티에서 분명했다. 공식적으로 지정되고 유지된 많은 산림 도로에 대한 두더지의 최근 침입(그림 4A). 11개의 다른 도로를 가로질러 또는 11개의 다른 도로로 파간 39개의 물 터널이 기록되

거리 내에서 두더지 터널이 확인되었다. 이것을 체계적으로 조사하기 위해, 이전 미끼의 말뚝 구멍은 최소 1km로 분리된 8개의 다른 위치에서 확인되었다(그림 4C). 동시에, 찾을 수 있는 근처의 두더지 터널이 표시되었다. 각 위치에서 (그림 4D). 총 94개의 말뚝 구멍과 204개의 물 터널이 8개 지역에서 기록되었다. 전체의 47%를 차지하는 44개의 말뚝 구멍에 대해, 물 tUnnel은 5미터 거리 내에서 확인되었다. 모든 스테이크 홀에서 가장 가까운 물 터널까지의 평균 거리는 20미터 미만이었다.

말뚝에서 두더지 터널까지 가장 먼 거리는 160미터였다. 분명히, 두더지는 그 지역에 산다.미끼는 벌레가 투덜거리는 것에 의해 수집된다.

수많은 두더지 터널 내의 활동은 나무못을 터널에 수직으로 배치함으로써 확인되었다. 이것들은 두더지가 터널을 건넌을 때 옆으로 밀려났고, 따라서 동물의 최근 통과를 나타낸다.굴 시스템을 방해하지 않고. 이 기술을 사용하여, 세 마리의 두더지가 터널을 통과할 때 손으로 잡혔다.

우리 실험실의 이전 연구에 따르면 포로 동부 두더지는 그들의 몸에 상응하는 것을 먹을 수 있다고 한다.매일 상업적으로 이용 가능한 나이트크롤러에서. 이 잠재력에 접근하기 위해 디플로카르디아 애팔라치콜라 국유림의 한 두더지인 지렁이는 풍토병의 식단을 먹었다. 디플로카르디아 레벨의 미끼 가게에서 샀다.일주일 동안 순응한 후, 이 42g 두더지는 총 무게가 평균 42.4g인 하루 평균 23마리의 벌레를 계속 먹었다(10일 동안 측정됨). 이 섭취량은 연간 15kg 이상을 나타내지만, 확실히 벌레는 더 적다.야생에서 먹을 수 있다 (토론 참조).



. 스테이크(원)와 관련된 각 웜(화살표)의 이동 방향. 중요한 방향 선호도는 발견되지 않았다 (레이리 테스트;  $P = 0.261$ ,  $Z = 1.35$ ). E. 진동의 결과로 나타난 5개의 웜의 평균 속도. 그들의 속도는 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소했다. F. 출현 지점(위쪽 화살표)을 보여주는 2개의 웜의 경로는 30초마다 그들의 위치(점)와 그들이 땅으로 다시 파고든 상대적인 위치(아래쪽 화살표), 굴을 파는 시간이 표시됩니다. doi:10.1371/journal.pone.0003472.g003



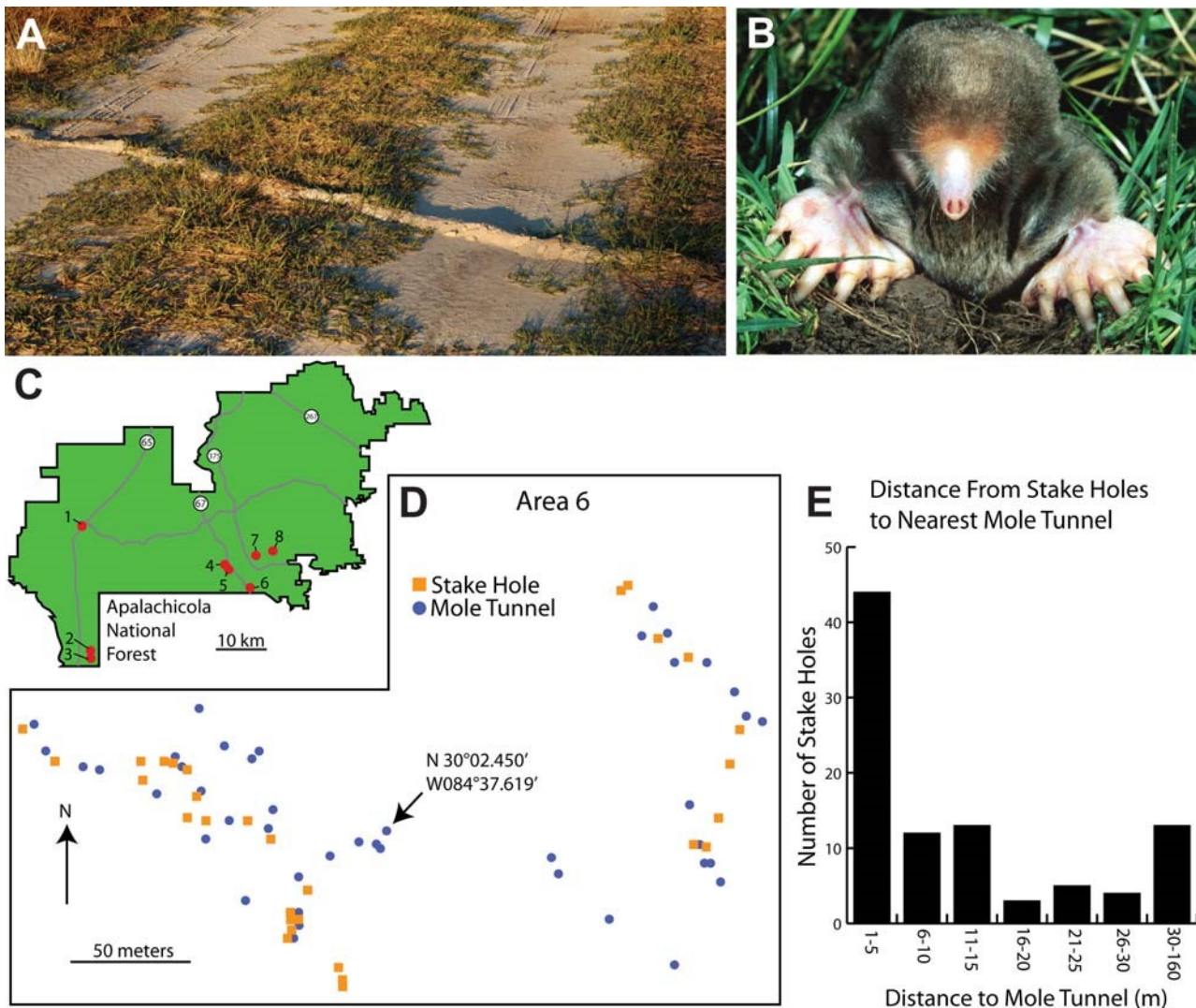


그림 4. 동부 아메리카 두더지 (스칼로푸사쿠아티쿠스) 아팔라치콜라 국립유림에서. A. 지정된 숲길에서 두더지에 의한 39개의 도로 침입 중 하나. B. 동아메리카 두더지 (*Scalopus aquaticus*) 터널을 발굴하는 데 사용된 큰 전뚝을 보여준다. C. 두더지 터널을 조사한 주요 도로(회색)와 8개의 미끼 수집 장소(빨간색 원)를 보여주는 아팔라치콜라 국립유림의 개요. D. 미끼 c의 말뚝 구멍의 상대적인 위치사이트 6의 올렉터(주황색 사각형)와 두더지 터널(파란색 원). 모든 위치 조사, 미끼 수집 구역이 두더지 터널과 겹쳤다. E. 8개 사이트 모두에서 컴파일된 두더지 터널에서 주어진 거리에서 말뚝 구멍의 수를 보여주는 히스토그램.

94개의 말뚝 구멍과 204개의 몰 터널이 확인되었다.  
doi:10.1371/journal.pone.0003472.g004

### 두더지와 비에 대한 벌레의 반응

애팔래치콜라 국립에서 풍토병 두더지와 벌레가 공존한다는 것을 확립한 후 Est, 다음 실험 세트는 지렁이가 파는 두더지에 반응하는지 여부를 결정하는 것을 목표로 했다. 첫 번째, 예비 시험 세트에서, 작은 (20625619cm) 컨테이너는 50마리의 벌레를 수용하는 데 사용되었다. 두더지는 아래 모서리에 있는 습관 흔적 튜브를 통해 들어갈 수 있었다(그림 5A). 용기는 약

15cm 깊이의 흙으로 채워졌고, 지렁이는 표면에 놓여져 굴을 파도록 허용되었다. 지렁이가 acc1을 받은 후 밤새도록, 쓰레기 통은 각 시험 전에 통제 기간으로 1시간 동안 관찰되었고, 1시간 전 또는 1시간 동안 나타난 모든 벌레는 계산되고 제거되었다. 다섯 번의 시험에서, 2개의 웜s는 통제 기간 동안 토양 표면에서 제거되었다. 이것들은 토양에 파고든 새로운 벌레로 대체되었다. 그런 다음 시험은 튜브를 통해 두더지를 도입하고 1시간 동안 결과를 관찰함으로써 시작되었다.

지렁이는 짧은 대기 시간으로 뚜렷한 반응을 보였다. 특히, 많은 벌레들이 토양 표면으로 빠르게 빠져나갔고, 종종 컨테



이너 벽을 기어다니며 그 지역을 벗어나려고 시도했다. 비디오 녹화된 평가판은 영화 S2로 포함되어 있다. 지렁이는 두더지 앞에서 탈출 반응을 보이는 것 같았다. 이와 관련하여, 그것은 동부 두더지는 먹이를 찾는 동안 토양 표면으로 나가지 않는다는 점에 유의해야 합니다(토론 참조), 따라서 표면으로 도망치는 것은 즉각적인 안전과 가장 많은 것을 제공합니다. 후속 굴을 위해 포식자로부터 멀어지는 효율적인 수단.5번의 시험에서, 평균 23.6마리의 벌레 또는 47%가 1시간 이내에 토양

을 빠져나왔었다(그림 5B). 다른 시험에서, 두더지는 다양한 수준의 활동을 보였고, 각 시험은 상대적으로 긴 기간의 비활동을 포함하는 것처럼 보였다.

홍보로서비와 포화된 토양에 대한 잠재적 반응에 대한 제거 테스트, 위에서 설명한 바와 같이 50마리의 벌레가 다시 한 번 5개의 상자 각각에 대해 토양에 파고들 수 있었다. 그런 다음 각각은 제공하는 연속 스프링클러 시스템 아래에 배치되었다.

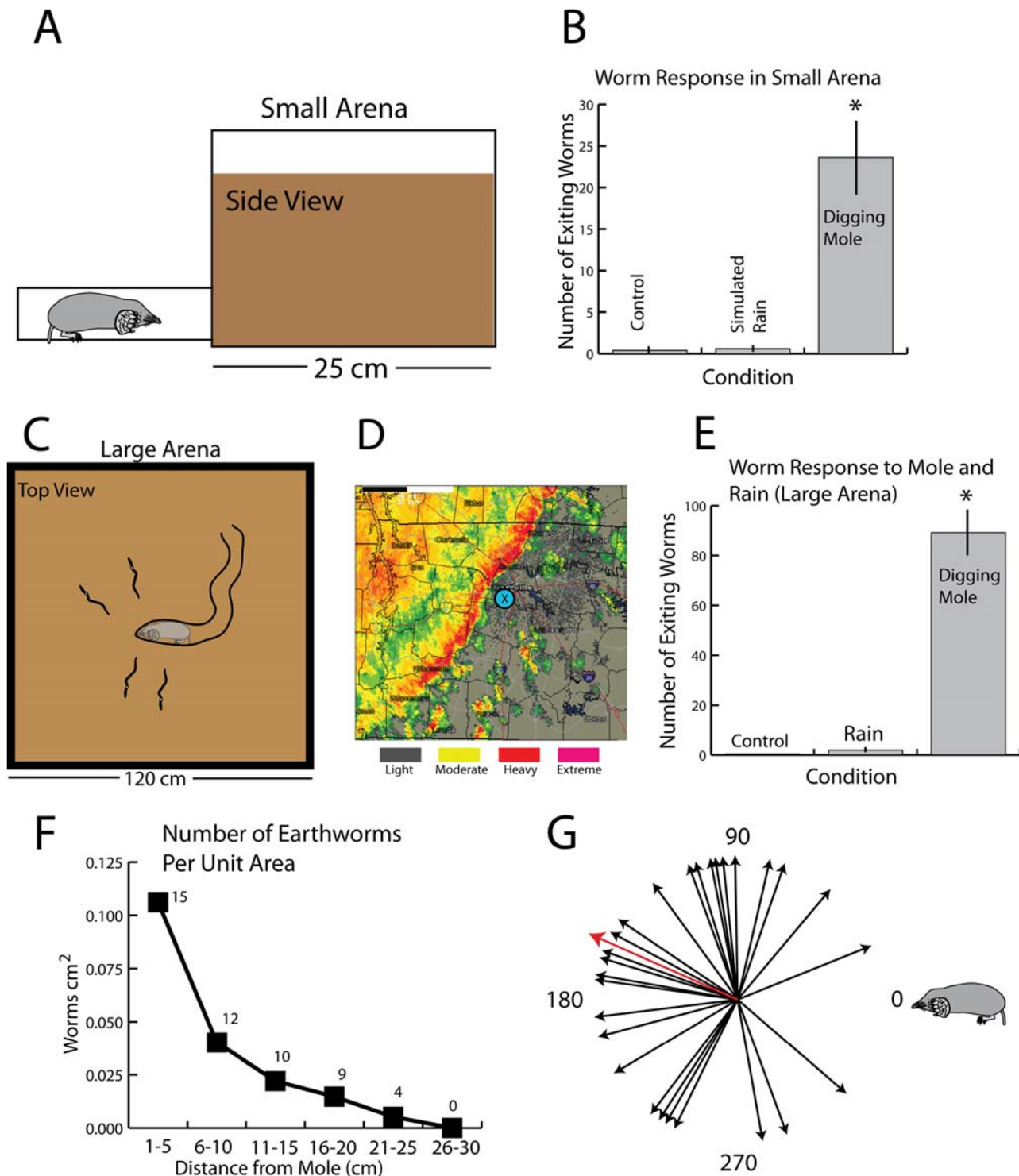


그림 5. 지렁이 반응을 조사하는 실험 요약. A. 예비 테스트는 작은 경기장(20 w)에서 수행되었다. 625리터(619 h cm) 토양과 50개의 *Diplocardia* 지렁이를 포함한다. 두더지는 튜브를 통해 들어갔다. 아래 코너와 관찰은 1시간 동안 이루어졌다. B. 반응을 보여주는 히스토그램. 각각 1시간 동안 지속되는 5번의 시험에서, 보통 두더지가 토양에 들어가 토양을 방해한 직후에 평균 23.6마리의 지렁이가 토양 표면으로 빠져나왔다. 영화 s2한 재판의 첫 번째 부분은 어때? 제어 기간은 시험 전 1시간 간격이었다. 시뮬레이션된 비는 스프링클러 시스템으로 구성되었다. 비 게이지로 측정된 분당 1인치의 속도로 폭우를 시뮬레이션했습니다. \* 표시두더지와 다른 조건 사이의 상당한 차이 ( $F_{(2,12)} = 26.44$ ,  $p < 0.0001$ ). 바는 SEM이야. C. 큰 야외 경기장의 개략도(상도) (1.261.2m 채우기더 자연스러운 환경에 사용되는 약 15cm의 깊이까지. D. 2008년 4월 1일 00:31시간의 뇌우에 대한 상대적인 강우량을 보여주는 기상 레이더, 이 기간 동안 *Diplocardia* 반응의 관측이 이루어졌다. 비만 의보존각 시험마다 강우의 첫 시간 동안 이

루어졌으며(강우량은 계속되었다) 온건하고 폭우 기간을 포함했다.  $x$ 는 야외 경기장의 대략적인 위치를 표시한다.  $e$ . 큰 경기장에서 파는 두더지에 대한 지렁이의 반응 1시간(5시도)과 1시간의 보통에서 폭우(3시도). 파는 두더지에 대한 반응은 영화 s3와 s4를 참조하십시오. \* 파는 두더지와 다른 조건의 상당한 차이를 나타냅니다 ( $F_{(2,10)} = 70.66$ ,  $p=0.0001$ ). 바는 SEM이다. F. T50번의 관찰을 위해 두더지와 다른 거리에서 나타난 벌레의 수. Y축 단위는 50번의 시험에 대해 합산된 단위 면적당 원을 나타낸다(따라서 임의적이다). 각 사각형의 숫자 각 거리에 대한 원의 원시 합계가  $nt$ . G. 30개의 관찰을 위한 탈출하는 원의 움직임에 대한 방향 선호도 요약. 지렁이는 상당한 방향 선호도를 가지고 있었다 (레이리 테스트  $P = 0.034$ ;  $Z = 3.33$ ) 평균 벡터는 15이다.6도 (0도에서 물)

빨간 화살표로 표시됨. doi:10.1371/journal.pone.0003472.g005

빛물 게이지로 측정된 분당 1인치의 속도로 시뮬레이션된 폭우. 각 상자는 1시간 동안 관찰되었고, 나타난 모든 벌레는 계산되고 제거되었다. 5번의 시험에서, 이 시험 동안 용기의 모양에서 3마리의 벌레가 나타났다(그림 5B). 예상대로, 시험이 끝날 때까지 모양은 완전히 포화되었고 용기의 모양 표면에 서 있는 물이 있었다. 그 모양은 그런 다음 용기에서 제거하고 지렁이를 검사했다. 각각의 경우에, 벌레 건강해 보였고 명백한 해로운 영향을 겪지 않았다.

이 시험에 따라, 1.2m에 달하는 2개의 더 큰 야외 경기장<sup>2</sup> 관찰을 위한 더 자연스러운 환경을 제공하기 위해 약 15cm 깊이 의 모양으로 건설되고 채워졌다(그림 5C). 삼백 디플로카르디아 그런 다음 각 경기장 안에 배치되었고 굴을 파는 것이 허용되었다. 지렁이가 밤새 적응한 후, 용기는 시험 전에 통제 기간으로 1시간 동안 관찰되었고, 1시간 전에 또는 1시간 동안 나타난 모든 벌레는 계산되고, 제거되고, 새로운 벌레로 대체되었다. 그런 다음 두더지가 모양 표면에 놓였다., 굴을 파는 것이 허용되었고, 결과는 한 시간 동안 관찰되었다. 이 절차는 총 5개의 대형 빈 시험에서 반복되었다.

두더지는 다른 간격으로 다양한 방향으로 터널을 파고, 이 행동과 대응  $N_g$  표면 능선은 현장에서 관찰된 행동과 터널과 구별할 수 없는 것처럼 보였다(나중에 섹션 참조). 파는 두더지에 대응하여, 많은 지렁이가 모양을 빠져나와 표면을 가로질러 여행했다(영화 s3). 5번의 재판을 위해, av89마리의 원 또는 약 30%가 표면으로 나왔다. 이러한 더 자연스러운 시험에서, 이 반응의 잠재적 유용성은 더 분명했다. 벌레들이 땅을 파는 두더지에서 분명히 탈출하는 것처럼 보였다. 많은 벌레들이 빠져나와 두더지는 꽤 가까웠지만(5-10cm) 일부 벌레는 20센티미터 이상의 거리에서 나왔다(예: 영화 s4). 벌레의 투덜거리는 행동으로 인한 행동과는 달리, 많은 지렁이는 방향 반응이 있는 것처럼 보였고 두더지에서 멀어졌다.

출현의 거리와 방향을 더 신중하게 문서화하기 위해, 모양 표면과 같은 평면에서 카메라로 추가 시험이 수행되었다. 50개의 지렁이 탈출은 이런 방식으로 촬영되었고, 거리의 분포는 떠오르는 벌레에 대한 두더지는 그림 5F에 나와 있다. 지렁

이의 이동 방향은 또한 30번의 시험에서 두더지의 위치에 대해 측정되었다(그림 5G). 원은 상당한 방향 선호도를 가지고 있는 것으로 밝혀졌다 (Rayleigh 테스트  $P = 0.034$ ,  $Z = 3.33$ ) 156도의 평균 벡터로, 물에서 떨어진 경로(0도에서)에 근접한다.

비에 대한 잠재적인 반응을 조사하기 위해, 각각 300마리의 지렁이를 포함하는 위에서 설명한 큰 경기장이 관찰되었다. 보통에서 폭우를 동반한 폭풍우, 총 3번의 대형 빈 시험. 3번의 시험의 평균 강우량은 1천  $R_{face}$  (경기장에는 배수 구멍이 없었다). 다음 12-24시간 동안, 기상 조건에 따라, 모양이 바뀌었고 지렁이를 검사하고 건강해 보였다.

## 두더지로 인한 진동

두더지는 강력한 파는 사람이다. 터널을 확장하고 먹이를 찾기 위해 앞다리를 사용하면서 모양을 상당히 방해한다. 종종, 야생에서 파는 두더지는 몇 피트 떨어진 곳에서 있는 관찰자에게 분명히 들린다(영화 s5 참조). 소리와 그에 상응하는 지상 진동은 Gen이다. 두더지가 모양을 강제로 움직이고, 모양을 통해 발톱을 굴 때, 특히 작은 뿌리의 네트워크(대부분의 서식지에서 유비쿼터스)가 끊어질 때. 많은 지오폰 녹음이 거칠게 만들어졌다. 동부 두더지 먹이를 찾는 것테네시의 데이비슨 카운티에서 그들의 터널을 확장했다. 약 15cm의 거리에서 수직 방향 지오폰으로 기록된 이러한 진동의 25초 예는 그림 6A에 나와 있습니다(추가 오디오 파일 s2 참조). 피크 앰프리 이러한 진동의 튜드는 약 6~10미터 거리에서 원 그런터로 인한 진동의 진폭과 비슷했다(그림 1). 원 그런터와 파는 두더지의 주파수 구성 요소(전력 스펙트럼)는 공동이다. 그림 6B의 로그 스케일에 pared. 예상대로, 원 그런터 진동은 더 균일하고, 80hz 근처에 집중되어 있다. 먹이를 찾는 두더지는 200hz에 가까운 가장 강한 피크로 더 넓은 범위의 진동을 일으켰다.

벌레가 발굴로 인한 진동에 어떻게 반응했는지 조사하기 위해 단일 스크래치를 나타내는 녹음 섹션인 *ging mole*(그림 6, C1)는 새 파일로 복사되어 굵은 자국 사이의 침묵으로 다양한 시간 간격으로 반복되었다(그림 6, C2). 이 사운드 트랙은 시간이 지남에 따라 증폭되었다. 15분 동안 접근하는 두더지를 시뮬레이션하세요(그림 6, C3). 그런 다음 전체 사운드 트랙이 4번 반복되었고, 1시간에는 4개의 시뮬레이션된 "몰 접근"이 포함되

었다. 이 자극은그리고 나서 스피커를 통해 흙 속으로 들어갔다.이전에 설명한 바와 같이 50마리의 지렁이를 포함하는 작은 경기장(그림 6D). 5번의 시험에서, 1시간 동안 평균 16마리의 지렁이가 나타났다(영화 S6). 각각의 경우에, 지렁이는 3시간 동안 나타나기 시작했다.<sup>Rd</sup> 증폭의 단계.이 단계에서 생성된 진동의 대략적인 측정값을 얻기 위해, 지오폰은 재생하는 동안 경기장 중앙에 배치되었다. 진동의 진폭은 wor에서 얻은 것과 비슷했다.8~10미터 거리에 있는 m grunter.

### 야생 두더지

애팔래치콜라 국유림에서 터널을 적극적으로 확장하는 야생 두더지를 찾는 것은 불가능했지만, 그러한 관찰은 테네시 데이비스 카운티에서 가능했다. 이것은 나투의 지오폰 녹음을

허용했다.앞서 설명한 바와 같이, 랠리에서 발생하는 채집 행동. 그것은 또한 자연 조건에서 발생하는 지렁이 탈출 반응의 눈에 띄는 예를 제공했다. 약 1시간의 비디오 촬영 관찰 과정에서, 60마리 이상의 지렁이가 빠져나와 나간다.굴을 파는 두더지 근처의 흙 (영화 S5를 보세요). 두더지는 말 그대로 탈출하는 벌레의 흔적에 의해 토양 표면을 가로질러 추적될 수 있다. 게다가, 3개의 곤충 유충이 토양에서 나와 표면을 가로질러 빠르게 이동했다.

### 토론

이 조사의 결과는 지렁이가 먹이를 찾는 것에 대한 고정관념적인 탈출 반응을 가지고 있다는 가설을 뒷받침한다.



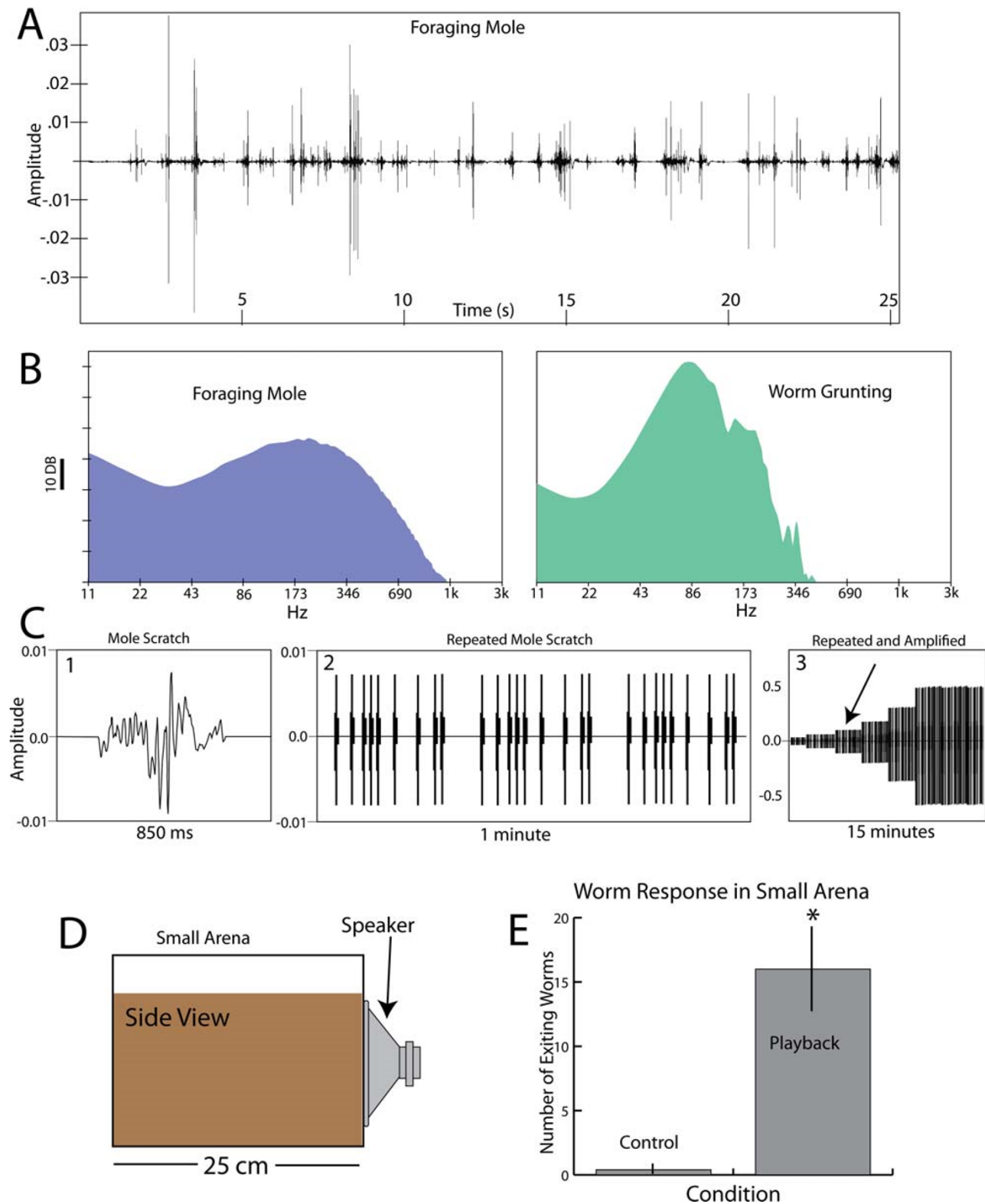


그림 6. 먹이를 찾는 두더지와 지렁이가 반응으로 인한 진동. A. 야생의 수직 지오폰 녹음, 데이비스 카운티 테네시에서 약 15cm의 거리에서 두더지를 찾는 것 (보충 오디오 파일 s2 참조). B. 먹이를 찾는 두더지(위의 기록의 처음 23초부터)와 웜 그런터(그림 1c의 세그먼트에서)의 대표적인 스펙트럼. C. 먹이를 찾는 두더지에서 한 개의 굽힌 자국을 기록하는 것 (1). 이 스크래치는 여러 번 반복되었고 (2) 시간이 지남에 따라 증폭되었다 (3) 파는 두더지를 시뮬레이션하기 위해. 화살표는 지렁이가 지속적으로 모양에서 나온 재생 지점을 표시한다. D. 재생 실험에 사용되는 작은 경기장.

E. 재생 실험 결과. 5번의 시험에서 평균 16마리의 지렁이가 시뮬레이션된 두더지에 대한 반응으로 나타났다. \*는 상당한 차이를 나타낸다 ( $t(8) = 24.712$ ,  $p < 0.005$ , 파는 물과 제어 기간 사이의 상당한 차이를 나타냅니다 (방법 참조).  
Doi:10.1371/journal.pone.0003472.g006

두더지, 그리고 그 미끼 수집가들은 무의식적으로 벌레를 내뿜기 위해 두더지를 파는 것을 모방하는 법을 배웠다. Es케이프 반응은 토양을 빠르게 빠져나가는 것으로 구성되어 있으며, 이는 두더지의 추격을 방지하고, 더 먼 위치에서 후속 굴을 파기 위해 두더지에서 효율적으로 이동할 수 있게 해준다.

아팔라치콜라 국유림은 이상적인 세터를 제공했다여러 가지 이유로 이 조사를 위해. 첫째, 숲 안팎의 많은 가족을 위한 지원 수단으로 미끼 수집의 오랜 역사가 있다. 이것은 그 지역의 지렁이가 진동에 특히 강한 반응을 보인다는 것을 시사한다. 그리고 왜 그들이 표면화해야 하는지에 대한 질문을 제기하고, 수많은 육상 포식자에게 자신을 노출시킨다. 둘째, 이러한 미끼 수집 관행은 오늘날까지 계속되어 관찰과 스택드를 허용한다. 여러 세대에 걸쳐 전해져 내려온 기술의 y.이 점에서, 나는 미끼 수집이 어떻게 그리고 어디서 이루어지는지 보여주고, 숲 생태계에 대한 광범위한 지식을 공유한 것에 대해 게리와 오드리 레벨에게 지고 있다. 마지막으로, 그 지역은 크게 개발되지 않았고 토착 지렁이 개체군과 토착 두더지 개체군 모두, 이 두더지와 지렁이 사이의 "감각 군비 경쟁"은 오랜 진화 역사를 가지고 있음을 시사한다. 주어진 것은 사소한 것이 아니다. 콘을 가로지르는 지렁이의 인간 도입 Tinentis [12,13]는 많은 분야에서 그러한 관계에 접근하기 어렵게 만들었다.

그 결과는 더 많은 토론과 연구를 위해 많은 질문을 제기한다. 예를 들어, 지렁이 종과 다른 종들 사이에서 이 반응이 얼마나 널리 퍼져 있는지를 그런 탈출 행동을 보여줄 수 있나? 이 새로 설명된 반응은 echolocating 박쥐와 날아다니는 곤충과 같은 잘 연구된 다른 시스템과 어떻게 비교됩니까? 반응을 설명할 수 있는 메커니즘과 신경계 전문화는 무엇인가? w모자 포식자는 두더지와 e 사이의 오랜 포식자-먹이 상호 작용을 악용할 수 있다관절염과 어떤 다른 무척추동물이 이런 식으로 반응할 수 있나? 이것들과 다른 질문들은 아래에서 논의된다.

### 디플로카르디아 비에 대한 반응

국유림 내의 관찰을 포함한 이 조사의 결과는 벌레가 강우를 시뮬레이션하지 않는다는 것을 시사한다. 이 결론에 대한 증거는 거의 벌레가 나타나지 않는 시뮬레이션된 비 실험에서 나온다. 그리고 지렁이가 폭우와 함께 뇌우에 노출되어 비슷한 결과를 낳았다. 두 경우 모두, 오랜 지연 후에 소수의 벌레만이 토양을 빠져나와 나간다.. 15분). 어느 경우에도 포화된 토양의 지

렁이는 곤경에 처한 것처럼 보이지 않았다. 사실, 더 장기적인 관찰 디플로카르디아 야외 경기장에 수용된 지렁이는 건조의 위협이 갑작스러운 우기에 익숙하는 것보다 더 크다는 것을 시사했다. 완전히 포화된 토양에 남아 있는 벌레 24시간 동안 건강하게 나타났다. 또한, 아팔라치콜라 국유림(개인 관찰) 내에서 한 번의 폭풍우 동안 떠오르는 벌레는 관찰되지 않았다. 마지막으로, 행동 의 디플로카르디아 웜 그룬티 동안 Ng는 식사를 피하기 위한 적절한 적응으로 보이지 않는다. 이 인상은 지렁이가 따뜻한 날씨에 뜨겁고 건조한 기질에 대낮으로 나타나는 것을 보는 것에서 비롯된다. 수분 함량에 대한 다른 강한 감각 신호는 있을 것 같지 않다. 환경은 진동에 의해 무시되거나, 무작위 방향으로의 빠른 출현과 움직임(그림 3D)은 비가 시작될 때 적응할 것이다(예: 디플로카르디아 비브라티에 대한 반응으로 오르막길을 움직이지 마세요온스). 대조적으로, 토양 표면 위의 반응과 빠른 움직임(지렁이의 경우)의 짧은 지연은 먹이를 추구하기 위해 표면화되지 않는 지하 포식자를 탈출하는 데 적절하다(개인적인 관찰, [14,15] 참조). 이 resp에서 요법, 그 반응은 수생 포식자가 따라갈 수 없는 공기를 통해 잠시 여행하기 위해 물 밖으로 나갈 수 있는 날아다니는 물고기를 연상시킨다 [16]. 두 먹이 품목 모두, 적대적인 환경으로의 진출은 수명이 짧지만, 사전으로의 재진입을 허용한다. 더 먼 위치에 있는 데이터의 영역.

그렇다면 왜 폭우 후에 지렁이가 표면에서 관찰되나요? 아마도 가장 분명한 설명은 다른 서식지에 있는 많은 종의 지렁이가 사실 잠재적으로 장기간의 강우 후 식사할 위험이 있다. 예를 들어, Chuang과 Chen [17]은 최근 2종의 지렁이에서 산소 소비와 표면화 행동을 조사한 결과 한 종(폰토스콜렉스 코레트루루스) 더 낮았어 산소 소비율은 폭우 후 토양에서 나오지 않았다. 다른 (아민타스 그라실리스까지의 평균 시간 A. 그라실리스 출현은 10시간이었고, 지렁이는 보통 ni 이후에 나타났다. Ghtfall. 이것은 지렁이가 종종 su에서 관찰된다는 일반적인 관찰과 일치한다. 폭우가 내린 후 아침이지만, 이 지렁이가 진동에 의해 신호될 수 있는 비의 시작에 대한 짧은 대기 시간 반응을 보인다는 것을 암시하지는 않는다.

### 희귀한 적 효과

아마도 이 결과의 가장 흥미로운 측면일 것이다. 인간은 무의식적으로 더 일반적인 위협에 대한 먹이의 적응을 이용하는 '

거의 적의 역할에 캐스팅된다. 도킨스 [19]는 이 시나리오를 설명했고, 더 많은 통신에 비해 먹이에 비교적 작은 영향을 미치는 포식자를 제안했다. 포식자는 먹이의 행동을 악용하는 전략을 개발하고 유지할 수 있으며, 확장하여 신경계를 악용하는 전략을 개발하고 유지할 수 있다 [착취적인 모방에 대한 20 참조]. 이것은 다시 칠한 것에 대해 잘 문서화되어 있다. 디스타트 (마이오보루스 픽투스) 먹이를 찾는 동안 곤충의 비행을 유도하기 위해 고대비 깃털과 꼬리 부채를 사용하는 [21]. 이 플러시 추적 포식자들은 곤충의 유선 탈출 회로를 활성화하는 것으로 생각되며 [22-25] 심지어 먹이를 가장 민감한 파로 안내할 수도 있다. 효율적인 추구를 위한 그들의 시야. 이 전략의 진화는 좁은 포식자의 우세에 달려 있으며, 비행에 의한 탈출은 최고의 곤충 방어로 남아 있다 [21].

놀랍게도, 인간은 진동을 사용하여 지렁이를 씻어내는 유일한 사람이 아니다. 틴베르겐 [4]은 청어 갈매기가 유럽의 땅에서 벌레를 씻어내는 발 패들링 행동을 나타낸다고 언급했다. 게다가, 그는 진동에 대한 지렁이의 타고난 반응은 두더지를 피하는 것이라고 제안했다. 내가 다른 갈매기에서 본 것은, 그러나, 패들링에는 두 가지 기능이 있다고 확신시켜줬어. 하나는 지렁이를 키우는 것이다., 가치가 있는 토양의 떨리는 것에 타고난 반응이 있는 것 같다., 그들이 대적을 탈출할 수 있도록, 두더지" 그는 또 다른 이유는 발 패들링이 종종 관찰되는 진흙탕 물웅덩이에서 작은 동물들을 내뿜고 노출시키는 것이라고 제안한다. 이것은 아마도 갈매기에 대한 더 일반적인 관행은 행동의 기원을 시사하며, 이는 개인의 경험, 유전자에 대한 선택을 통해 나중에 강화될 수 있는 지상 환경으로 쉽게 옮겨질 수 있다. 이온, 아니면 둘 다.

카우프만은 지렁이를 씻어내기 위해 땅을 짓밟는 나무 거북이의 두 번째 예를 문서화했다 [5,26]. 200번 이상 나무 거북이가 먹이를 찾는 동안 땅을 밟는 것이 관찰되었고, 이 행동은 종종 추적되고 먹힌 지렁이의 출현을 불러일으켰다. 후속 조사에 따르면 다른 사람들은 나무 거북이와 지렁이 반응에서 같은 행동을 독립적으로 관찰했다 [27]. 카우프만은 미국 남동부의 미끼 수집 기술을 알고 있었다. 묘사된 벌레가 투덜거리는 한 형태로서의 거북이의 행동 [28]. 틴베르겐과 마찬가지로, 카우프만은 지렁이의 반응을 두더지로부터의 탈출 행동으로 돌렸다.

분명히, 지렁이가 두더지를 찾는 것을 피하기 위해 진동에 반응한다는 생각은 생각되었다. 한동안 ed를 받았지만, 공식적으로 테스트한 적이 없다. 지렁이 행동에 대해 궁금해하는 대부분의 생물학자들은 그 주제에 대한 다윈의 작업 [6]을 읽고 그 문제에 대한 그의 논평에 주목했을 수도 있다. 그러나 다윈

과 틴베르겐 [4] 모두 unpubl에 대해 언급한다. 다른 사람들과 개인적인 의사소통을 했다. 이것은 많은 자연주의자들이 발굴하는 두더지를 우연히 발견했고, 지렁이를 탈출하는 것을 발견했다는 것을 시사한다. 현재 조사에서 관찰되었다. 이것은 차례로 그러한 탈출 반응이 b일 수 있음을 시사한다. 두더지에 반응하는 다른 지렁이에 널리 퍼져 있다.

두더지에 대한 지렁이의 광범위한 반응과 포식자가 이러한 반응을 이용하는 능력은 두더지를 찾는 주된 선택적 압력에 달려 있다. 두더지가 지렁이에 미치는 잠재적인 영향은 무엇인가요? 야생에서 잡힌 유럽 두더지의 위 내용물 조사 (탈파 유로페아)는 그들이 하루에 60g의 음식을 먹는 것을 제안하며, 지렁이는 식단의 많은 부분을 차지한다 [29,11]. 이것은 연간 20kg 이상을 나타내며, 그 중 절반 이상은 보통 지렁이이다 [11]. 동부 두더지 연구 (스칼로푸스 아쿠아쿠스) 그들이 비슷한 양의 무척추동물을 섭취할 수 있다고 제안하며, 지렁이가 식단의 많은 부분을 차지한다 [30,31]. 우리가 상업적으로 이용 가능한 나이트크롤러에게 먹이를 주는 포로 동부 두더지에 대한 우리 자신의 경험 (럼브리커스), 그들을 나타낸다. 매일 벌레로 체중을 쉽게 섭취할 수 있다. 이것은 si를 위해 측정되고 확인되었다. 아팔래치콜라 국유림의 두더지 디플로카르디아 미끼가 수집한 지렁이. 42g의 물은 평균 42g을 소비했다. 디플로카르디아 (하루에 23일) 10일 동안 (1주일의 적응 후). 이것은 야생에서 먹는 것보다 더 많은 것을 나타낼 것이다. 그럼에도 불구하고, 이 양의 절반은 연간 7kg의 지렁이, 또는 약 3~4천 명의 성인이 될 것이다. 디플로카르디아 (6-8번 그림 2C에 표시된 숫자). 분명히 m올레는 지렁이의 중요한 잠재적 포식자를 나타낸다.

두더지와 지렁이 사이의 상호 작용은 박쥐와 날아다니는 곤충 사이의 감각 군비 경쟁을 연상시킨다 [32] 그러나 지하의 특성으로 인해 훨씬 덜 분명하다. 관련된 종 (두더지는 지렁이와 같은 두더지는 그들 자신의 포식자를 가지고 있고 그 자체로 진동에 매우 민감하기 때문에 관찰하기 어렵다). 박쥐는 또한 무척추동물 개체군에 강한 영향을 미칠 수 있는 작은 포유류이다. 비록 ech위치는 박쥐가 밤하늘을 이용할 수 있는 수단을 제공했다. 날아다니는 곤충의 방대한 자원, 그것은 또한 그들의 접근 방식에 대한 의무적이고 강력한 신호를 제공한다. 많은 다양한 곤충들이 박쥐를 감지하는 귀를 발달시켰다. 그리고 초음파에 대응하여 회피적인 기동을 하세요. 많은 나방이 2단계 반응을 나타내며, 먼저 낮은 진폭 초음파에 반응하여 박쥐에서 멀리 날아가기 위해 코스를 바꾼 다음, t에 반응하여 땅 (그리고 음향 크립시스)으로 다이빙한다. o 높은 진폭 초음파 [32,33].

## 지렁이에 의해 감지된 매력적인 벌레와 단서

박쥐의 경우와 마찬가지로, 먹이를 찾기 위해 표면을 파는 두더지는 먹이가 접근할 때 고유하고 잠재적으로 강한 단서를 제공한다. 진동은 이러한 자극의 명백한 구성 요소이며(그림 6A), 이것은 웜 투덜의 효능을 설명하기 위한 현재 조사의 초점이었다. 그러나, 또 다른 잠재적인 단서가 주목되었다. 토양의 국소 압축파는 동안 사지에 의해, 이 저주파 구성 요소는 g에서 분명하지 않았다. 에오폰 녹음이지만, 손으로 토양을 간단히 압축함으로써 모방될 수 있다. 진동의 경우와 마찬가지로, 이 자극도 유발되었다. 지렁이의 반응을 피하세요. 이 단서는 부분적으로 충분한 힘의 통제된 자극을 생성하기 위한 메커니즘이 부족하기 때문에 현재 연구에서 신중하게 조사되지 않았다.

하지만 탈출하는 지렁이가 두 진동을 모두 감지할 가능성이 있는 것 같다. 두더지에서 탈출할 때 vibrations (웜-grunting에서 볼 수 있듯이)와 토양의 국소 압축 - 후자는 두더지가 특히 가깝다는 것을 나타낸다. 이 두 단서의 조합은 단독으로 제시된 것보다 더 뚜렷한 탈출 반응을 이끌어낼 수 있다. 흥미롭게도, 영국에서 "매력적인" 웜은 후자의 자극에 의존하는 것으로 보인다. 매력적인 웜은 미끼를 지원하기 위해 상업적 규모로 발생하지 않는다. 산업, 하지만 매년 "세계 웜 매력적인 챔피언"이 있다. 매년 윌라스턴(영국 맨트위치 인부)에서 열리는 선박과 데본의 블랙로턴에서 열리는 웜 차밍의 국제 축제. 주요 기술은 갈퀴를 땅으로 물고 앞으로 흔드는 것이다. 이것은 토양을 압축한다. 갈퀴 주변의 거리, 그리고 지렁이로부터의 탈출 반응을 이끌어낸다. 많은 미터를 운반하는 웜 투덜그리는 동안 발생하는 80hz 진동과는 달리, 피치포로 매력적인 웜 Rk는 1미터 미만으로 운반하는 것으로 보이며, 따라서 덜 극적인 결과를 가지고 있다. 그러나 다가오는 두더지를 알리는 두 가지 잠재적 단서가 존재한다는 것은 주목할 만하며, 이러한 다른 단서를 활용하기 위해 다른 대륙에서 두 가지 다른 방법이 개발되었다(현재 결과는 이름이 "차민"에서 변경될 수 있음을 시사한다. 공포에 - 틴베르겐이 말했듯이, 이 단서들은 웜의 대적의 접근을 알렸다.

## 남은 질문들

그 결과는 생태학의 관점에서 신경윤리학에 이르기까지 많은 질문을 제기한다. 예를 들어, 그것은 이러한 탈출 반응이 토양 동물군 사이에서 얼마나 널리 퍼질 수 있는지, 그리고 다른 포식자들이 그러한 반응을 악용할 수 있는지 조사하는 것이 흥미로운 것이다. 또한 아팔라치콜라 국유림에 있는 많은 지렁

이가 탈출할 수 있을 수도 있다. 그들의 접근 방식을 감지하여 두더지 포식, 두더지가 다른 무척추동물에 의존하도록 요구한다 [예: 34]. 두더지는 일반적으로 매우 민감하다. 디플로카리아 따뜻한 날씨에, 그들이 홍보에 취약하지 않도록 활동이 감소된 시간 동안의 sedation. 마지막으로, 지렁이 속의 신경계 림브리커스 빠른 철수 반응을 매개하는 거대한 섬유로 잘 알려져 있다 [36,37]. 그것에 대해 많은 것을 배웠다. 그러한 거대한 섬유 시스템의 뉴런과 신경 네트워크의 전기 생리학이지만, 이러한 생리학적 조사를 자연 환경으로 확장하는 것은 종종 어렵다. 디플로카리아 그런 기회를 제공할 수도 있어.

## 재료와 방법 위치 플롯

두더지 터널과 미끼 수집 구역의 위치는 3~5미터(일반 95%)의 정확도로 Garmin 휴대용 콜로라도 400t WAAS 지원 GPS 장치로 표시되었다. 웨이포인트는 매킨토시 컴퓨터로 다운로드되었다. Uter와 구글 어스로 수입되었다. 중간 지점 사이의 거리(그림 4C)는 눈금자 기능을 사용하여 플로팅되었다. 웨이포인트 지도(그림 4D)는 포인트를 MacGPS Pro 버전 7.6으로 가져와 플로팅된 포인트를 Jpeg 파일로 변환하여 구성되었습니다., 파일을 Adobe Illus에 배치하기 Trator CS3 버전 13, 그리고 일러스트레이터 형식의 기호를 사용하여 플롯을 재구성합니다. 현장에서 지렁이 위치를 플로팅하기 위해(그림 3A), 두 개의 Sonin 10300 다중 측정 초음파 측정 장치가 수신기와 함께 사용되었다. 두 수신기는 몇 미터 간격으로 배치되었고 각 (이전에 표시된) 지렁이 위치에서 가장 가까운 센티미터까지 측정되었으며, 각 수신기에 대해 하나의 측정이 이루어졌다. 이러한 조치는 eac에 대한 고유한 위치 플롯(쌍으로 수신기의 한 쪽)을 제공했다. 지렁이로 표시했어. 수신기 사이의 거리는 어도비 일러스트레이터 문서에서 수신기를 나타내는 2개의 (스케일링된) 위치 마커를 플로팅하는 데 사용되었다. 표시된 각 수신기 지점에 대해, 원 명령은 원 w를 만드는 데 사용되었다. 반경은 각 수신기에서 각 지렁이 마크까지의 (확장된) 거리와 같다. 2개의 원의 교차점(각각 수신기 위치를 중심으로)은 각 표시된 지렁이의 위치를 나타내며, 이 데이터는 그림 3A에 나와 있다. 측정하기 위해 그림 3C에 설명된 더 짧은 거리, 줄자는 스테이크에 대한 지렁이 위치의 거리와 각도를 측정하기 위해 도 마크가 있는 해협 라인 모델 120 레이저 레벨과 함께 사용되었다. 귀의 각도 말뚝과 관련된 벌레의 경로는 접이식 나무 눈금자의 세그먼트로 측정된 다음 노트북으로 추적되었다. 이러한 각도는 나중에 스캔되어 어도비 일러스트레이터에 배치되었고, 가장 가까운 정도로 측정되었으며, 그림 3C에 설명되



어 있다. 앵글스테이크와 관련하여 여행한 es는 그림 3D의 회로도를 구성하는 데 사용되었다(통계는 아래 참조). 대형 경기장 시험에서 거리 측정을 위해, 캐논 XL1 디지털 비디오 카메라는 토양 표면과 같은 평면에 배치되었다. 참조 스케일의 비디오 테이프는 시험과 같은 초점면에서 만들어졌다. 그런 다음 먹이를 찾는 두더지에서 지렁이가 탈출하는 것은 기록되었고, 소니 DVMC 변환기 상자를 사용하여 Imovie 버전 6.0.3으로 가져와 쿼타임 영화로 변환되었다. 선택된 프레임은 e였다. 각 평가판에서 xported되고 Photoshop CS3 버전 10에서 열렸습니다. 각 지렁이의 흔적과 토양 움직임을 기반으로 한 두더지의 위치는 비디오 세그먼트를 검토하는 동안 디지털 이미지에 표시되었다. 두더지의 위치는 esti였다. 두더지 터널의 일관된 크기에 따라 지렁이가 탈출할 때 토양 교란의 중앙 4cm로 짝을 이루었다. 그런 다음 이 파일은 두더지에 대한 거리와 움직임 각도가 측정된 어도비 일러스트레이터에 배치되었다.

### 동물 수집품

아팔라치콜라 국유림의 지렁이 수집은 허가 번호 WAK40에 따라 수행되었다. 아팔라치콜라 국유림의 두더지는 주 허가 WX08126과 미국에 따라 수집되었다. 농무부 특별 사용 허가 APA5098. 테네시 데이비스 카운티의 두더지는 주 허가 번호 1868에 따라 수집되었다. 두더지는 두더지가 터널 시스템을 통과할 때 나무뿔의 편향을 관찰하여 수집되었고, 손 흙손으로 두더지의 통로를 막은 다음 제거했다. 손으로 두더지. 디플로카르디아 두더지-지렁이 상호 작용에 사용된 것은 Revells의 미끼 가게에서 구매되었다. 주목하세요 디플로카르디아 경작되지 않고 그것들을 장기적으로 유지하기 위한 기술인공 자연 환경은 확립되지 않았다. 그들은 종종 목재 칩의 미끼를 위해 유지되지만, 이 경우에는 자연스러운 행동을 보이지 않는다. 건강하고 활동적인 피험자를 보장하기 위해, Revells가 제공한 새로 수집된 표본주간 d를 준비하여 이러한 조사에 다시 사용됩니다. 엘리베리. 모든 절차는 밴더빌트 기관 동물 관리 및 사용 위원회의 승인을 받았으며 연구에서 동물 관리 및 사용에 대한 국립 보건원 지침에 따라야 합니다.

### 지오폰 녹음

지오폰 녹음은 4.5Hz 공명 주파수의 GEO 11D 트랜스듀서를 포함하는 전용 수직 또는 수평 지향 모델을 사용하여 Oyo Geospace 지오폰(휴스턴, TX)으로 만들어졌다. 지오폰이 꺼져서 사전 증폭이나 필터링 없이 노트북의 오디오 입력에 연결된 동축 케이블을 통해 넣었다. 모든 신호는 오디오 입력이 50%

로 설정된 Audacity 소프트웨어 버전 1.2.6a를 사용하여 매킨토시 G4 컴퓨터에 기록되었다. 스펙트럼 Analysis는 th를 사용하여 Audacity에서 수행되었다. E 빠른 푸리에 변환 및 로그 주파수 플로팅 (그림 6B).

### 통계 자료

지렁이 운동의 방향성은 Rayleigh 테스트를 사용하여 평가되었다. 피 발랑시엔 Ues는 Oriana(Kovach Computing Services, Isle of Anglesey, Wales, UK)를 사용하여 계산되었으며 중요한 것으로 간주되었다. 피, 0.05. 통제 기간, 시뮬레이션된 비, 그리고 파는 두더지를 비교하는 작은 경기장 시험을 위해 (그림 5B) 데이터는 조건의 주요 효과에 대한 옴니버스 테스트로 단방향 ANOVA를 사용하여 분석되었다. 이것은 사후 호크가 뒤따랐다. 티-테스트. 같은 절차가 통제 기간, 비, 그리고 큰 야외 경기장에서 파는 두더지를 비교하는 데 사용되었다(그림 5E). 에이 티-테스트는 우리였어 제어 기간을 파는 두더지의 재생과 비교하기 위해 ed (그림 6E).

### 지원 정보

오디오 파일 S1 그림 1C에서 볼 수 있듯이 벌레가 투덜거리는 지오폰 녹음.

발견: doi:10.1371/journal.pone.0003472.s001 (0.02 MB MPG)

오디오 파일 S2 이 사운드 파일은 그림 7A에 설명된 대로 (증폭 없이) 먹이를 찾는 두더지의 증폭된 지오폰 녹음을 재생합니다. 그것은 몇 가지를 보여준다. 두더지가 사료를 살 때 발생하는 진동.

발견: doi:10.1371/journal.pone.0003472.s002 (0.35 MB MPG)

영화 S1 게리와 오드리 레벨은 플로리다의 팬핸들에 있는 아팔라치콜라 국유림에서 미끼를 모으기 위해 벌레가 투덜거리는 것을 보여준다. Revell's는 전문 미끼 수집가이며 그 지역의 대형 지렁이를 수집하여 생계를 유지한다. 이 벌레들(Diplocardia mississippiensis)은 지하 굴에서 빠르게 빠져나와 진동에 반응한다. 진동은 cr입니다. 먼저 나무 말뚝('스토브'이라고 함)을 땅에 두드린 다음, 말뚝의 윗부분을 평평한 조각으로 문지르면서 먹었다. 금속('루핑 아이언'). 이것은 수천 개의 벌레가 수집될 때까지 다른 지역에서 반복된다.

의 기초를 쌓다 에서:

Doi:10.1371/journal.pone.0003472.s003

(8.61 MB

이동)

영화 s2 이 비디오는 굴을 파는 두더지에 대한 지렁이 반응에 대한 예비 테스트를 보여준다. 컨테이너가 가득 찼다.흙에는 50마리의 디플로카르디아 지렁이가 있다. 그리고 나서 두더지가 경기장에 소개된다. 두더지가 파고들면서, 지렁이는 표면으로 빠져나와 그 지역을 떠나려고 시도한다(비디오는 더 속화된다).

의 기초를 쌓다                   에서:  
Doi:10.1371/journal.pone.0003472.S004                   (7.96 MB 이동)

영화 s3 이 비디오에서 두더지는 토양으로 가득 차 있고 300마리의 *Diplocardia* 지렁이를 포함하는 큰 경기장에 굴을 파고 있다. 이것은 더 자연스러운 설정을 보여주고 뚜렷한 탈출 반응을 보여준다.굴을 파는 두더지는 일반적으로 벌레를 사냥하는 동안 땅 아래에 남아 있기 때문에, 표면으로 나가는 벌레는 배고픈 두더지로부터 안전하다. 두더지는 발굴할 때 진동과 토양 압축을 일으키며, 이 연구의 결과는 웜 grunTERS가 두더지를 시뮬레이션하고 있음을 시사한다.

의 기초를 쌓다                   에서:  
Doi:10.1371/journal.pone.0003472.s005                   (6.59 MB 이동)

영화 s4 이 비디오에서 두더지는 토양으로 가득 차 있고 300마리의 *Diplocardia* 지렁이를 포함하는 큰 경기장에 굴을 파고 있다.이 비디오는 비디오 3과 유사하며, 더 자연스러운 설정을 보여주고 뚜렷한 탈출 반응(스피드 업)을 보여주지만, 이 경우 두더지를 형성하는 더 먼 거리에서 반응 중 일부를 보여줍니다.

## 참고 문헌

1. 쿠랄트 C (1985) 찰스 쿠랄트와 함께 길에서. 뉴욕: 퍼트넨.269쪽.
2. 토빈 TC (2002) 그루팅과 모임. 성. 피터스버그 타임즈. 4월 14일.
3. Hendrix PF, Callahan Jr MA, Kim L (1994) 미국 남부의 근극 지렁이의 생태학. 이. 미끼 수확의 영향 디플로카르디아 (*Oligochaeta*, *Megascolecidae*) 플로리다 북부 아팔라치콜라 국유림의 인구. 메가드리로지카 5: 73–76.
4. 틴베르겐 N (1960) 청어 갈매기의 세계. 뉴욕: Basic Books, Inc.297 p.
5. 카우프만 JH (1986) 나무 거북이에 의한 지렁이 스톱핑, 클레미스 인스컬프타: 새로 발견된 채집 기술. 코페이아 1986: 1001-1004.
6. 다윈 C (1881) 그들의 습관에 대한 관찰과 함께 벌레의 작용을 통한 식물성 곰팡이의 형성. (재인쇄, 2002). 맥린: 인디퍼블리시.Com. 140쪽
7. 브라우어 K (1999) 웜 캔. 대서양 월간 283: 91-100.
8. 에이츠 TL, 레더슨 RJ (1982) 두더지. 에서: Chapman JA, Feldhamer GA, eds. 북미의 야생 포유류. 볼티모어: 존스 홉킨스 대학교 출판부. 37-51쪽.
9. 알튼 AV (1936) 두더지에 대한 생태학적 연구. J 포유류 17: 349-371.
10. 혁맨 GC (1984) 발굴된 굴 스칼로푸스 아쿠아쿠스 플로리다에서, *Nearctic talpid/geomyid* 굴 구조에 대한 의견과 함께. *Sa"ugetierkd Mitt* 31: 243–249.

의 기초를 쌓다                   에서: Doi:10.1371/저널.Pone.0003472.s006                   (4.44 MB 이동)

영화 s5  
발견: doi:10.1371/journal.pone.0003472.s007 (10.20 MB 이동)

영화 s6 이 비디오는 파는 두더지의 증폭된 소리에 대한 지렁이 탈출 반응을 보여준다. 흙으로 가득 찬 용기에는 50마리의 지렁이가 들어 있다. 그부착된 스피커는 두더지의 녹음된 소리를 재생하는 컴퓨터에 연결되어 있다 (녹음은 지오폰으로만 들어졌다). 이 녹음의 예를 들어, 사운드 파일 B를 들어보세요.의 기초를 쌓다                   에서:  
Doi:10.1371/journal.pone.0003472.s008                   (8.16 MB 이동)

## 감사

게리와 오드리 레벨에게 특별한 감사를 드립니다. 이 연구는 그들의 관대한 도움과 벌레에 대한 광범위한 지식이 없었다면 불가능했을 것이다.이야기, 그리고 아팔라치콜라 국유림의 생태와 지리에 대한 많은 통찰력을 공유하려는 그들의 의지. 현장에서 위치를 계획하는 방법을 제안해 주신 David McCauley와 순환 통계에 대한 조언을 주신 Terry Page에게도 감사드립니다.

## 저자 기여

실험을 구상하고 설계했다: KCC. 실험을 수행했다: KCC. 데이터 분석: KCC. 논문을 썼다: KCC.

11. Gorman ML, Stone RD (1990) 두더지의 자연사. 이타카: 코넬 대학교 출판부. 138쪽.
12. 제임스 SW, 헨드릭스 PF (2004) 북미와 다른 지역으로의 이국적인 지렁이의 침입. 에서: 에드워즈 캘리포니아, 에드. 지렁이 생태학. 보카 레이턴: CRC 언론.75-88쪽.
13. 헨드릭스 PF (2006) 지하의 생물학적 침입 - 침입종으로서의 지렁이. 바이오 침공 8: 1201–1204.
14. 하비 MJ (1976) 동부 두더지의 흙 범위, 움직임 및 다이얼 활동, 스칼로푸스 아쿠아쿠스. *Amer Midl Nat* 95(2): 436–445.
15. Scheffer TH (1914) 미국 동부의 일반적인 두더지. USDA 농부의 황소 583: 3-12.
16. Davenport J (1994) 날다니는 물고기는 어떻게 그리고 왜 날까? 레브 피쉬 비올과 피쉬 4: 184–214.
17. 추양 SC, 찬En JH (2008) 지렁이에 의한 폭우 후 밤에 토양에서 출현하는 산소 소비의 주간 리듬의 역할. *Invert Biol* 127: 80-86.
18. 드류 MC (1983) 식물 손상과 뿌리 환경의 산소 결핍에 대한 적응: 검토. 식물 토양 75: 179-199.
19. 도킨스 R (1982) 확장된 표현형. 옥스퍼드: 옥스퍼드 대학교 출판부. 307페이지



20. 위클러 W (1968) 식물과 동물의 모방. 뉴욕: 맥그로힐 북 컴퍼니.
21. Jablon'ski PG (1999) 희귀한 포식자가 먹이를 착취한다탈출 행동: 그려진 빨간색 시작의 먹이를 찾는 데 꼬리 팬과 깃털 대비의 역할 (마이오보루스 픽투스). 행동 Ecol 10: 7-14.
22. Jablon'ski PG (2001) 먹이의 감각 착취: 초기 dir의 조작먹이의 ection은 눈에 띄는 '진귀한 적'에 의해 탈출한다. Proc R Soc Lond 268: 1017-1022.
23. Jablon'ski PG, Strausfeld NJ (2000) 조류 포식자에 의한 고대 탈출 회로의 착취: 현장에서 모델 포식자 디스플레이에 대한 먹이 민감성. 뇌 행동 에볼 56: 94-106.
24. Jablon'ski PG, Strausfeld NJ (2001) 조류 포식자에 의한 고대 탈출 회로의 착취: 분류군 특정 먹이 탈출 회로와 포식자의 시각적 단서에 대한 민감성 사이의 관계. 뇌 행동 Evol 58: 218-240.
25. Jablon'ski PG, McInerney C (2005) 먹이 탈출 방향은 플러시를 추구하는 새들의 피벗 디스플레이에 영향을 받는다. 의학 11: 381-396.
26. 카우프만 JH, 하딩 JH, 브루스터 KN (1989) 나무 거북이가 쿡광거리는 벌레를 다시 방문했다. Bull Chicago Herp Soc 24: 125-126.
27. Zeiler D (1969) 거북이 보호구역. Int Turt Tort Soc J 3: 6-9, 30-31.
28. 카우프만 JH (1989) 나무 거북이 스톱프. 넷 히스트 8: 8-11.
29. 고드프리 G, 크로크로프트 (1960) 두더지의 삶. 런던: 박물관 출판부 한정된.
30. Dyche LL (1903) 일반적인 정원 두더지의 식습관. 트랜스 캔자스 아카드 과학 18: 183-186.
31. Whitaker Jr JO, Schmeltz LL (1974) 동부 두더지의 음식과 외부 기생충, 스칼로푸스 아쿠아쿠스, 인디애나에서. Proc Indiana Acad Sci 83: 478-481.
32. Roeder KD (1963) 신경 세포와 곤충 행동. 케임브리지: 하버드 대학교 출판부. 188쪽.
33. Hoy RR (1989) 깜짝, 범주형 반응, 그리고 곤충의 음향 행동에 대한 관심. Ann Rev Neurosci 12: 355-375.
34. 하트먼 GD, Whitaker Jr JO, Munsee JR (2000) 두더지의 식단 스칼로푸스 아쿠아쿠스 사우스캐롤라이나의 해안 평원 지역에서. Am Midl Nat 144: 342-351.
35. 카타니아 KC, 카스 JH (1997) 체감각 피질 및 distr의 조직동부 두더지에서 피질척수 뉴런의 부화 (스칼로푸스 아쿠아쿠스). J Comp Neurol 378: 337-353.
36. Bullock TH (1945) 거대한 섬유 시스템의 기능적 조직 컴브리커스. J Neurophysiol 8: 55-71.
37. Drewes CD (1984) 지렁이와 다른 아넬리드의 탈출 반사. 에서: 이튼 RC, ed. 깜짝 행동의 신경 메커니즘. 뉴욕: 플레넘 프레스. 43-91쪽.