

꿀벌의 감각기관

By The Bee Culture 발췌
신세계양봉원 오석환 번역

꿀벌의 감각기관

꿀벌은 정교하고 놀라운 감각기관을 사용하여 짧은 시간을 최대한 활용하여 최대한 많은 식량을 수확한다. 또한 긴급 상황에 대응하고 고온, 추위 등의 혹독한 날씨와 외부의 공격으로부터 벌집을 보호할 수 있는 능력도 갖추고 있다.

폰 프리쉬는 꿀벌이 사용하는 감각 기관에 대해 많은 연구를 했으며 그 점을 그의 책 *The Dance Language and Orientation of Bee*(벌의 춤, 언어와 귀소본능)(Karl von Frisch, L.E 채드윅 역, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, p.566, 1967년)에서 자세히 설명한다.

미각

칼 폰 프리쉬(Karl von Frisch)는 인간의 미각에 비해 꿀벌은 약한 설탕 용액에 덜 민감하다고 말한다. 또한 우리가 단맛을 난다고 하지 않는 설탕은 꿀벌에게 매력이 없다. 희귀한 종류를 포함하여 34가지 설탕을 시험한 결과,

인간이 맛있다고 느낀 것은 30가지인 반면 벌이 맛있다고 느낀 것은 7가지에 불과한 것으로 나타났다.

양식을 구하러 다니는 벌이 설탕물을 받아들이는 한계값은 식량은 어느 정도 구할 수 있는냐에 따라 달라진다. 자연 속에서 구할 수 있는 것이 아무 것도 없다면 벌은 설탕 함량이 2~4% 밖에 안되는 설탕물도 식량으로 인정한다. 설탕 함량이 그보다 높은 설탕물이 있으면 벌은 당도가 낮은 꿀이 있는 꽃을 포기한다. 벌은 당도가 30%인 설탕물과 35%인 설탕물을 구분할 수 있다. 이 정도의 당도 차이는 인간이 감지할 수 있는 최저 한계선일 것이다. 하지만, 두 가지 설탕물의 당도 차이가 2.5% 정도이면 벌은 그 차이를 구분할 수 없다.

사람에게 쓴맛으로 느껴지는 여러 가지 물질의 맛을 꿀벌은 느끼지 못한다. 키니네가 한 가지 예이다. 설탕물에 사람이 메스껍게 느낄 정도로 키니네를 첨가해 보면 이것을 쉽게 알 수 있다. 벌은 그 설탕물도 열심히 가져간다.

청각

일벌이 찾아낸 식량을 다른 벌들에게 알려주기 위해 춤을 출 때 소리가 난다는 것은 오래 동안 알려진 사실이다.(꿀벌사이의 의사소통 참조) 이 소리는 춤을 추는 벌이 날개를 진동시킬 때 나는 것이다. 이것은 날면서 날개를 움직일 때 나는 소리와 다르다. 날개가 잘라져 있거나 유전적인 돌연변이로 날개가 줄어들어 있으면 춤을 추어도 식량의 방향과 거리를 알 수 없다. 이것은 춤을 출 때 나는 소리가 춤추는 벌이 알려주는 정보의 중요한 부분임을 의미한다. 일부 일벌들은 소리가 나지 않는 춤을 추는데, 이런 춤도 역시 다른 벌들을 안내하는데 효과가 없다.

하지만, 최근까지 꿀벌에 대한 모든 교재는 꿀벌이 공기 중으로 전달되는 소리를 들을 수 없다고 명확하게 설명했다. 그 동안 소리의 종류와 감각 수용기의 종류에 대해 잘못 생각한 것이 문제인 것으로 보인다.

사람에게 친숙한 소리는 파동에 의해 전달되며 사람의 귀로 듣는 소리는 압력의 변동이다. 이런 종류의 소리는 먼 거리까지 전달된다. 꿀벌이 춤추는 벌을 따라가면서 듣는 소리는 공기 입자의 움직임에 의해 발생한다. 이런 종류의 소리는 1인치의 1/4미만 (6mm)의 가까운 거리에서만 들을 수 있다. 그렇기 때문에, 춤추는 벌이 내는 소리는 아주 가까운 곳에 있는 벌들만 감지할 수 있다.

춤추는 벌을 따라가는 벌의 머리에는 두 개의 더듬이가 직각으로 서 있으며 두 더듬이는 서로 90°의 각을 이루고 있다. 현재 존스톤(Johnston)기관이라고 하는 더듬이 기저부(육

경,pedicel)에 있는 털이 소리 수용기관인 것으로 생각된다. 재미있게 이 기관은 1855년에 존스톤이 모기에서 발견하였다. 이런 기관이 있는 곤충은 많지만, 그 기관의 진정한 기능은 명확하지 않다. 특히 꿀벌의 경우에 그러하다. 이런 감각 기관에는 더듬이 신경관 및 뇌로 정보를 전달하는 신경세포가 있다.

공기로 전달되는 소리를 다른 벌들이 듣는다는 사실을 보여주는 다음과 같은 실험을 실시하였다. 사양기의 설탕물을 먹는 벌들이 4초 정도 동안 적절한 주파수의 소리에 노출시킨 다음 약한 전기 충격을 가했다. 그러자 벌들이 사양기에서 떨어져 나왔으며, 동시에 그 소리와 충격을 연관짓게 되었다. 반복하여 실험을 하자 벌들이 그 소리가 들리면 전기 충격을 가하지 않아도 사양기에서 떨어져 나오게 되었다.

또한 스피커를 통해 나오는 소리를 작은 유리관을 통해 전달했다. 이 유리관의 방향을 설탕물을 먹고 있는 벌들에게 맞추었다. 그러자, 소리와 전기 충격을 연관짓는 단계를 거친 벌들은 소리가 계속 들리자 사양기에 내려앉지 않으려고 했다.

하지만, 커다란 관 속에서 소리와 전기 충격에 노출시키자, 꿀벌들은 소리와 전기 충격을 연관짓지 못했다. 이것은 비교적 먼 곳에 있는 벌들은 음파와 입자 이동을 감지할 수 없음을 의미한다. 아래에서 설명한 연구에서는 정상파(standing wave)가 발행하는 조율된 관을 사용하였다. 그런 관에는 압력 변동이 가장 큰 영역(이 영역에서는 사람도 그 소리를 들을 수 있

다)과 압력은 변하지 않지만 입자 진동이 큰 영역(이 영역에서는 사람은 아무 소리도 듣지 못한다)이 있다. 이런 장소에서 꿀벌을 시험했을 때 꿀벌은 변위량이 가장 큰 영역에서는 반응했지만, 압력 차이가 큰 영역에서는 반응하지 않았다.

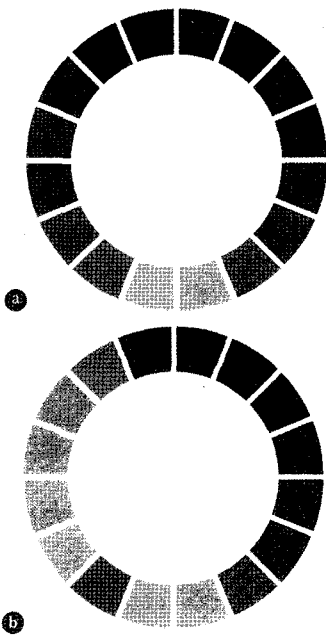
바로 이 발견 사실은 벌들이 춤추는 벌에게서 정보를 받는 방식에 대해 연구할 새로운 분야를 알려준다. 문헌 자료를 살펴보면 꿀벌과 소리에 관한 모든 내용이 새로운 것은 아니라는 사실을 알게 된다. 러시아의 연구사(L.K 에스 코프)는 1970년대 중반에 벌들이 이런식으로 들을 수 있다고 보고했지만 그의 실험은 설득력이 없는 것처럼 보였다. 또한 여러해 동안 꿀벌들이 벌집에서 나는 진동, 즉 물질에 의해 전

달되는 소리에 반응한다는 사실이 알려져 있었다. 예를 들어, 걸어다니는 벌들은 어떤 소리가 들리면 제자리에서 꼼짝하지 못한다. 또한 벌집을 flemad에 맞추어 두들기면 (톡톡 치는 것) 벌들은 위로 이동하는 반응을 보이며, 심지어 벌집을 떠나고 새끼를 내버리기까지 한다. 벌의 생물학 이론에서 기질에 의해 전달되는 소리를 감지하는 능력이 어떤 역할을 하는지는 아직 알려지지 않았다. 더 자세한 내용은 Harvad in honey bees : detection of air-particle oscillations (꿀벌의 청각 : 공기입자 진동을 감지한다)(Towne, W.F와 W.H.Kirchner, Science 244 p.686~688, 1989)을 참조하길 바란다.

색채

꿀벌은 색채 감각을 사용하여 들판에서 방향을 잡으면서 꿀, 화분, 프로폴리스를 수집하며, 아마도 물까지도 수집할 것이다. 또한 색채 감각을 사용하여 집으로 돌아온다. 양봉가들은 벌집을 각각 다른 색으로 칠하면 벌들이 자기 집을 찾는데 도움이 되며 봉장을 선호하는 벌들이 줄어든다는 사실을 오래 전부터 알고 있었다.

칼 폰 프리쉬가 벌들을 탁자 위의 사양기에 익숙해지게 만든 실험은 벌들에게 색채 감각이 있고 그 감각을 사용한다는 사실을 명확하게 증명하였다. 그 실험에서는 사양기 밑에 색깔이 있는 판자 조각을 놓았다. 벌들이 벌집과 사양기 사이를 몇 차례 왔다갔다 한 후, 탁자에 두 개의 새 사양기를 놓았다. 각 사양기 밑에 색깔이 있는 판자 조각을 놓았는데, 그 중 하나는 벌을 길들일 때 사용하는 것과 동일한 색깔



(a) 인간의 시각범위를 원형으로 표시함
(b) 벌의 시각 범위를 원형으로 표시함

이었다. 벌들은 즉시 자신이 길들여진 색깔의 판자가 있는 위의 사양기로 갔다. 같은 방법으로, 칼 폰 프리쉬는 벌들이 다양한 형태와 패턴을 구분할 수 있다는 사실을 알게 되었다.

면적이 동일한 속이 채워진 사각형과 원을 구분할 수 없다. 하지만 “뾰어진 부분”이 다른 디자인, 예를 들면 X와 속이 채워진 원은 벌들도 구분한다. 물론 꽃을 찾을 때 벌들은 후각과 시각을 동시에 활용한다. 그리고 벌들의 컬러 시각은 빨강색까지도 인식하지만 인간의 시각만큼 넓지는 않다. 벌은 시각 스펙트럼의 제일 끝에 있는 빨강색을 보지 못하기 때문이다. 하지만 벌들은 스펙트럼의 자외선 부분을 볼 수 있는데, 인간은 그 부분을 볼 수 없다. 따라서 일부 식물에서 꿀을 안내하는 표시를 벌들은 볼 수 있지만 인간은 볼 수 없다. (꿀 안내 표시 참조)

후각

칼 폰 프리쉬는 꿀벌의 더듬이에 냄새 수용기가 있으며 어떤 면에서 벌의 후각은 인간의 후각보다 더 정교하다고 보고했다. 초기 실험에서 프리쉬는 들어가는 작은 구멍이 있는 상자 안에 냄새가 나는 설탕물을 넣어 벌에게 주었다. 벌들이 식량과 상자가 관련이 있음을 이해하게 되자, 안에 식량이 없어도 그 냄새가 나면 상자에 들어가곤 했다. 또한 색깔과 냄새가 있는 식량상자에 길들여진 벌들은 30cm에서 1m의 거리에서 색깔을 이용해 상자를 선택하는 것이 관찰되었다. 하지만 상자에 가까이 다가간 벌들이 냄새가 나지 않으면 들어가지 않고 쪽 놓인 상자들을 위/아래로 훑으면서 맞는 냄새

새가 나는 상자를 찾았다.

이산화탄소 감지

꿀벌이 이산화탄소를 감지할 수 있다는 사실은 여러 해 전부터 볼 수 있었지만, 더듬이에 있는 이산화탄소 감지기관이 어떻게 작동하는지는 명확하지 않았다. 실리(Seeley)는 이산화탄소 가스를 벌집에 집어 넣으면 일벌들이 날개로 바람을 일으키는 행동을 자극한다는 것을 보여 주었다. 날개로 바람이 일으키는 것은 무작위적이 아니라 벌들이 함께 협력하여 과도한 이산화탄소를 입구를 통해 벌집에서 내보내기 위한 것이다.

봉군이 작은 경구 이산화탄소량을 1%~3% 사이로 조절하지만 큰 봉군에서는 더 정밀하게 조절한다. 동물은 산소를 소모하고 이산화탄소를 배출하므로, 이산화탄소량이 독성이 있는 수준까지 증가하지 않게 하는 것이 중요하다. 관찰할 수 있도록 유리로 벽을 만든 사연 상태의 벌집에서는 밤에 많은 수의 벌들이 여러 차례 날개로 바람을 일으키는 것이 관찰되었다. 이것은 이산화탄소량이 너무 많아지지 않게 하는 것이었다. 이산화탄소가 쌓이는 것은 벌을 냉장트럭에 싣고 이동할 때 문제가 될 수 있으므로, 벌을 이동하는 동안 어느 정도 환기가 되도록 특별히 주의해야 한다. 자세한 내용은 Atmospheric carbon dioxide regulation in honey-bee colonies (봉군의 대기 중 이산화탄소량 조절)(Seeley, T.D, Journal of Insect Physiology 20 p.2301~2305, 1974)을 참조하길 바란다. **양봉**