

Azadirachtin에 의한 *Leucophaea maderae*의 활동주기 변화와 뇌신경에 의한 조절관계 조사

한상진

한림대학교 자연과학대학 생물학과

Azadirachtin은 *Leucophaea maderae* (Fabricius)의 하루 활동주기길이를 0.16 ± 0.03 h 단축시켰으며, 실험동물의 40 %에서 리듬의 Splitting현상이 관찰되었다. 하루에 두개의 활동주기를 보이는 Splitting현상은 서로 180° 를 유지하여 나타났고, 이는 동물의 실험 전의 본래 주기길이가 평균보다 더 긴 주기를 지닌 동물에게 주로 나타났다. 또한 활동주기의 Splitting현상을 보이는 동물의 안구와 뇌신경(optic lobe) 절단수술 후 Splitting이 사라짐으로써 Azadirachtin이 뇌신경에 자극을 주어 Splitting을 야기시켰으며, 한쌍의 optic lobe 중 어느 한쪽만으로도 동물의 활동주기 조절가능성이 있다는 것이 본 실험을 통하여 밝혀졌다.

KEY WORDS: Azadirachtin, *Leucophaea maderae*, Splitting, Circadian rhythm

대다수의 생물이 보여주는 하루 활동리듬은 Bünning (1958)이 이미 밝혔듯이 외적요소에 의해 나타나는 외성적(exogeneous)리듬과 내적요소에 의해 나타나는 내성적(endogeneous) 생체리듬, 두가지의 복합형태로 나타난다. 자연환경을 지배하는 외적요인의 변화에 따라 외성적 활동리듬이 여러 형태로 변경될 수 있고, 한편 외적요인이 배제된 상태에서는 일명 “생리적 시계”(the physiological clock)라고 일컫기도 하는 생물 자체만이 지닌 고유의 생체리듬을 관찰할 수 있다. 그러므로 외적요인의 영향력이 차단된 고정된 조건 하에서 여러 생물의 내성적 하루 주기길이는 대사작용이나 생리적 변화를 일으킬 수 있는 알코올, 중소, 리튬과 같은 알칼리이온이나, cycloheximide 등의 여러 물질에 의해 달라진다고 Engelmann과 Schrempf (1980)가 입증하였다. 이 물질들은 주기길이를 단축시키는 경우도 있지만, 주로 연장시키는 효과를 보인다. 그러나 그 메커니즘에 관해서는 아직도 분명하게 밝혀지지 못하고 있는 상태이다.

실험물질로 사용된 Azadirachtin은 neem tree

(*Azadirachta indica*)에서 추출한 triterpenoid물질로써 이미 여러 연구를 통해 많은 효과가 있다는 것이 다음과 같이 증명되었다: 살충제 효과를 Butterworth and Morgan (1968), Zanno *et al.* (1975), Schmutterer and Rembold (1980) 등이 밝혔으며, 변태학적인 결과를 Robbins *et al.* (1968), Steets (1975), Redfern *et al.* (1981), Garcia and Rembold (1984)에 의해 여러 곤충에서 발견하였으며, 그 외에도 발생과 ecdysteroid합성에도 영향을 주고 있음이 Rembold and Sieber (1981)등 몇몇 학자들에 의해 연구되어졌다.

본 실험에서는 Azadirachtin이 바퀴벌레 *Leucophaea maderae* (Fabricius)의 내성적 활동주기가 지금까지 보여준 여러 물질의 효과와는 달리 어떻게 나타나는지를 살펴보았으며, 또한 Azadirachtin에 의한 변화가 생물의 일주기를 조절하는 기관체들간의 연관성에 어떤 영향을 가져오는지 수술방법을 이용하여 조사하였다. 주기길이 또는 양상에 어떤 변화가 초래된다면 Azadirachtin에 의해 뇌에 존재한다는 조절기들

사이의 연관성이 더욱 밀접하여지든지, 혹은 조절기들이 상호의존하는 관계로써 서로 영향을 미치도록 하였을 것이라고 추측된다.

Azadirachtin에 의한 효과는 물론, 이 실험을 통해 생체주기조절들의 연결상에 영향을 미침으로써 주기변화에 절대적 효과를 보여주는 리튬(Li^+)의 메카니즘을 Azadirachtin에 의한 Splitting현상에서 뇌신경수술을 통하여 좀 더 확실하게 규명할 수 있을 것이다.

재료 및 방법

실험동물로는 *Leucophaea maderae* (Fabricius) 바퀴벌레 수컷만을 택하였으며 성체가 된지 3 ~ 4일 된 것으로 총 127마리가 본 실험에 사용되었다. 동물들은 한면에 지름 1 cm의 마그네트기 부착된 원통형 플라스틱 바퀴(지름 10 cm, 높이 5 cm)에 각각 한마리씩 넣어 동물이 활동할 때마다 바퀴가 돌아감으로써 마그네트 접촉에 의해 기록기(Esterline angus, Model A, 620 X)에 활동상황이 자동기록될 수 있도록 장치하여 동물의 일주기 상태를 관찰하였다. 마그네트가 부착된 면의 맞은편 면에는 실험상에 영향을 미치지 않는 일정한 먹이로써 다이어트사료와 식수만이 곤충에게 공급되었다.

실험은 Wiedenmann (1978)의 실험에서 밝혔듯이 외부의 방해요인을 최소한으로 줄이기 위해서 24시간 내내 약한 적색조명(0.05 ± 0.02 lux) 상태에서, 실내 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하며 진행되었다. 이러한 외부 영향을 받지 않는 고정적인 상태에서 동물들의 고유 내성적 활동일주기를 살펴보기 위해 약 15 ~ 25일간 관찰한 후, 20% 에탄올에 희석한 Azadirachtin을 마이크로리터주사기(Hamilton)을 이용하여 곤충을 CO_2 가스로 마취시킨 다음, 8 ~ 40 μg 의 여러가지 농도로 4 ~ 10 μl 의 양을 실험하고자 하는 동물 96마리의 복부에 각각 주사한 후, 다시 바퀴에 넣어 계속 활동 일주기 변화를 관찰하였다. 비교동물 31마리에게는 20% 에탄올만을 Azadirachtin의 주사량과 같은 양으로 주사하여 실험물질의 효과와 주사에 의한 영향 여부도 비교, 관찰하였다.

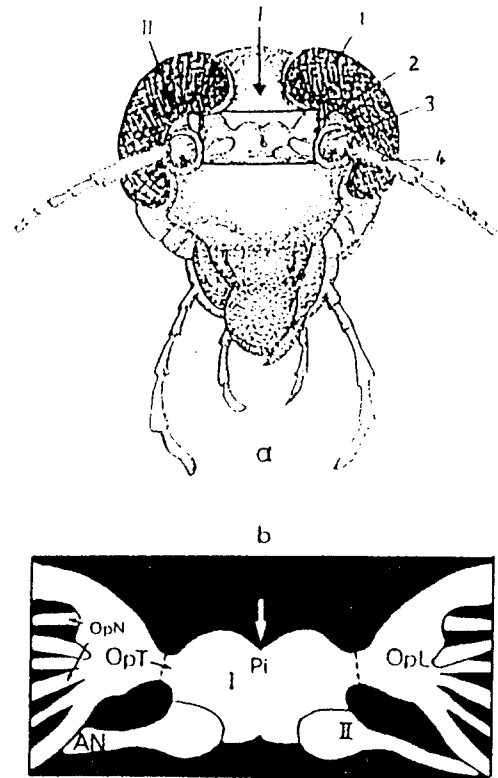


Fig. 1. a) A diagrammatic representation of the head of a *Leucophaea maderae* showing the area cut (thick line) on the head capsule. b) Frontal view of the brain showing the position on the window and the road brain depicting a surgical transection (- - -). I: protocerebrum; II: deutocerebrum; 1: compound eye; 2: ocellar fenestra; 3: antennal sclerite; 4: scape; OpT: optic tract; OpL: optic lobe; OpN: optic nerve; AN: antennal nerve; Pi: pars intercerebralis

두번째 실험에서는 Azadirachtin을 주사한 동물 중 Splitting이 나타난 15마리의 한쪽 optic lobe를 뇌중앙과 절단시켜(Fig. 1 a, b) 그 이후의 Splitting 변화상태를 관찰하였고, 8마리는 머리부분에 가상수술을 하여 수술한 동물과도 수술자체의 효과를 비교토록 하였다. 수술 역시 Azadirachtin을 주사했을때와 마찬가지로 동물의 활동리듬에 영향을 미치지 않는 일정한 실험조건에서 진행되었다.

측정방법은 자동기록기에 나타난 각 동물의 활동반응상황을 하나의 표로 하루 24시간 단위

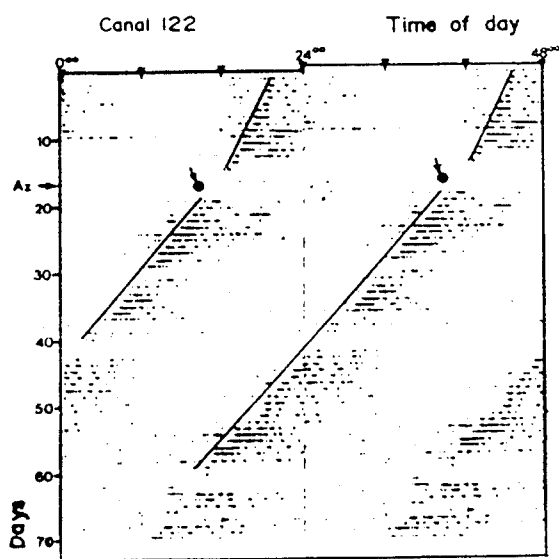


Fig. 2. Shortening of period length of locomotor activity rhythm by injection of azadirachtin. This is a example of actograms found in 88 % of the animals. All actograms are from male *Leucophaea m.* kept at 25°C under continuous weak red light conditions.

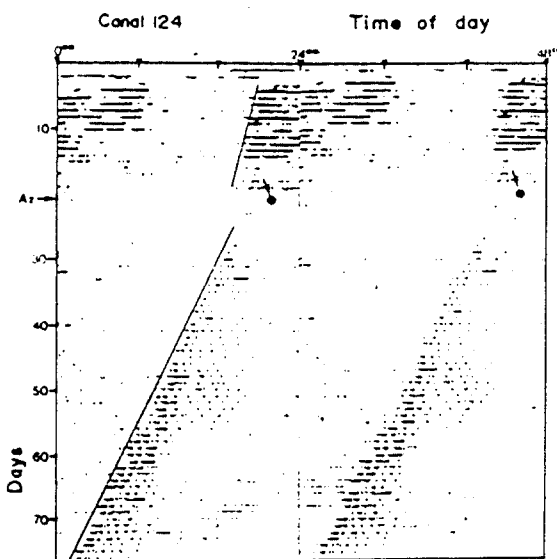


Fig. 3. Actogram demonstrating the period shortening of locomotor activity rhythm after azadirachtin injection. (Double plot)

로 작성하여 (Actogram; Figs. 2~5, 10~12) 매일의 주기변화를 관찰하였으며, 작성된 표 Actogram에서 하루활동이 시작되는 시점을 기준 (Phase referencepoint, Pittendrigh 1960)으로 하여 매일 변화되는 활동시작시점의 기울기에서 모델자를 이용, 일주기길이를 계산해 내었다. 모든 동물의 주기는 실험전과 후를 각각 측정, 계산하여 비교하였다.

결과의 유사성을 검증하기 위해서는 Wilcoxon-test (Siegel, 1956), Spearman Rang-Correlation test, Mann and Whitney의 U-test, X²-test (Weber, 1980)방법이 이용되었다.

결과

실험동물 96마리 중, 15마리에겐 8μg을 25마리는 9μg, 15마리는 10μg, 9마리는 14μg, 21마리는 20μg, 8마리는 30μg을, 그리고 3마리에겐 40μg의 Azadirachtin을 각각 주사한 결과, 8마리는 며칠 후 죽고, 나머지 88마리가 주

기길이의 변화가 평균 23.74 ± 0.03 h에서 0.16 ± 0.03 h 짧아진 23.58 ± 0.03 h 주기를 보였으며 (Figs. 2 and 3, Table 1), 이 중 39.8 %가 Splitting현상 (Figs. 4 and 5)을 보여주었다. 이에 비하여 에탄올만을 주사한 비교동물들은 -0.01 h 정도의 주기변화를 보였다. 주기길이의 변화(Δτ)와 splitting현상을 보인 동물의 수를 Fig. 6로 표시하였다.

역시 농도차이에 따르는 주기길이가 변화가 관찰되었는데 Fig. 7에서 나타났듯이 Azadirachtin 양이 증가될수록 주기길이의 축소폭이 더 커지는 것을 볼 수 있다. Splitting을 보이는 동물의 원래 평균주기길이는 23.8 h로 Splitting 현상이 나타나지 않은 동물의 실험 전 평균주기 23.57

Table 1. Effect of azadirachtin on the period length of locomotor activity rhythm in *Leucophaea maderae*. Period length τ control before and period length τ aza after azadirachtin injection.

n	τ control ± SE	τ aza ± Se	Δτ ± SE
88	23.74 ± 0.02	23.58 ± 0.03	-0.16 ± 0.03
31	23.62 ± 0.04	23.61 ± 0.04	-0.01 ± 0.05

SE: standard error

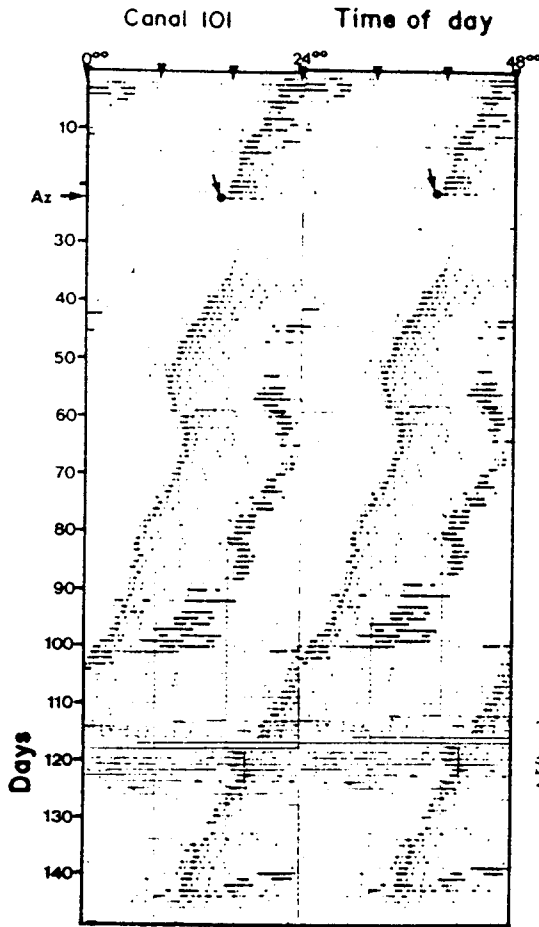


Fig. 4. Injection of azadirachtin on the 38th day of recording. Reduction of activity in the first 10 days following injection. Then an increase of activity and occurrence of splitting until day 45, after which both components of activity merged.

h에 비해 비교적 장주기를 지녔으며, Splitting이 나타나는 빈도는 Fig. 8에서와 같이 장주기일 수록 높은 비율을 보였다.

Fig. 4와 5에서 보다시피 Splitting은 하루주기에서 2개의 활동리듬(α_1 , α_2)을 갖춘 모습으로 α_1 의 주기길이는 4.9 h, α_2 의 주기길이는 2.9 h, 그 사이의 비활동주기길이 ρ_1 , ρ_2 는 각각 6.9 h와, 9.6 h로 측정되었다(Fig. 9). 첫 활동주기 α_1 과 두번째 활동주기 α_2 의 시간길이는 2 h차이가 있으나 α_1 과 α_2 의 시작시점은 동물의 평균 하루주기의 절반에서 나뉘어지는 180°의

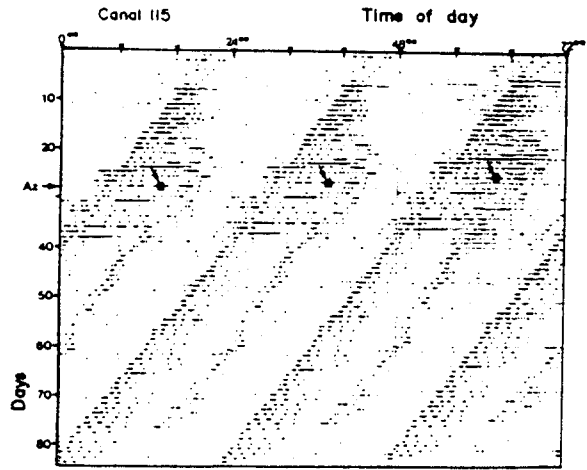


Fig. 5. Splitting occurred 10 days after injection of azadirachtin.

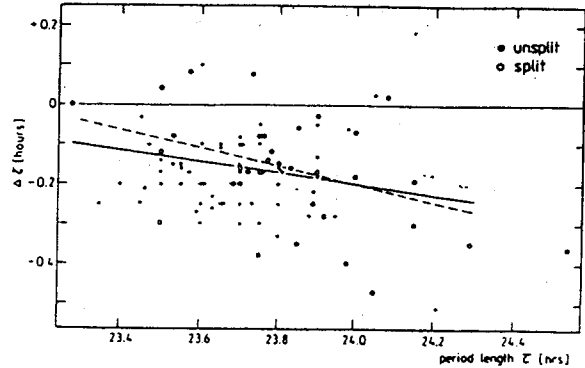


Fig. 6. Shortening of the period length as a function of the period length before azadirachtin injection. The shortening effect $\Delta \tau$ (hours) of the locomotor activity rhythm is more pronounced in animals with longer periods prior to injection. Splitted \circ and unsplit \bullet cases.

주기변화 특징을 보여준다.

그렇다면, 어떻게 그리고 왜, Azadirachtin이 splitting현상을 유발시키게 되는지의 의문이 제기된다. 만일 optic lobe에 주기조절기가 위치하여 여기에 Azadirachtin이 영향을 미친다면 optic lobe을 제거하거나 절단시킴으로써 splitting이 사라지거나 혹은 splitting이 다른 양상으로 나타날 것이다. 이러한 의문을 풀기위해 optic lobe을 뇌의 중앙과 격리시키는 수술이 이행되

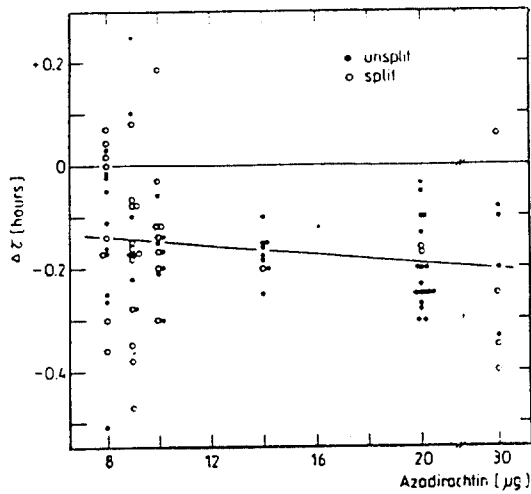


Fig. 7. Period change as a function of the quantity of injection azadirachtin. Period change in hours, concentration in μg azadirachtin injected. \circ splitted, \bullet unsplit locomotor activity rhythm. Correlation shown by solid line.

었다. 이와 비교하기 위하여 8마리에 가상수술이 취해진 결과, 특별한 변화는 보이지 않았다.

오른쪽 optic lobe이 절단된 5마리의 곤충이나 왼쪽 optic lobe이 절단된 5마리의 경우, 10마리 모두 Splitting현상이 더 이상 나타나지 않았으며, 일반적으로 하루 한 주기만을 보이는, 실험전과 같은 내성적 활동리듬현상이 나타났다 (Figs. 10 and 11). 다른 5마리의 양쪽 optic lobe을 모두 절단했을 경우 일정한 활동주기가 없는, 하루내내 지속적인 활동을 보이는 비정상적인 arrhythm상태가 유발됐다(Fig. 12). 이러한 점으로 보아 optic lobe나 그들의 연결부위에 Azadirachtin의 효과를 보이는 것은 분명하나,

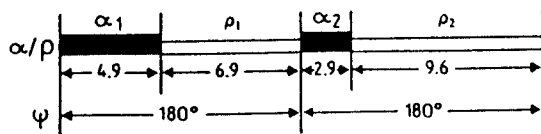


Fig. 9. Phase relationship between split components. The phase relationship between onset of active phase α_1 and α_2 is 180° . Mean length of α_1 , α_2 , ρ_1 and ρ_2 are given (hours).

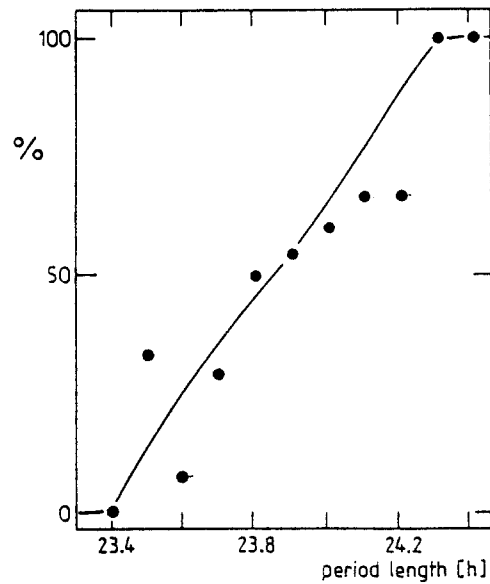


Fig. 8. Percentage of splitting as a function of the period length (hours) prior to azadirachtin injection. At longer periods the percentage of splitted locomotor activity rhythms increased, reaching 100 % at the longest periods.

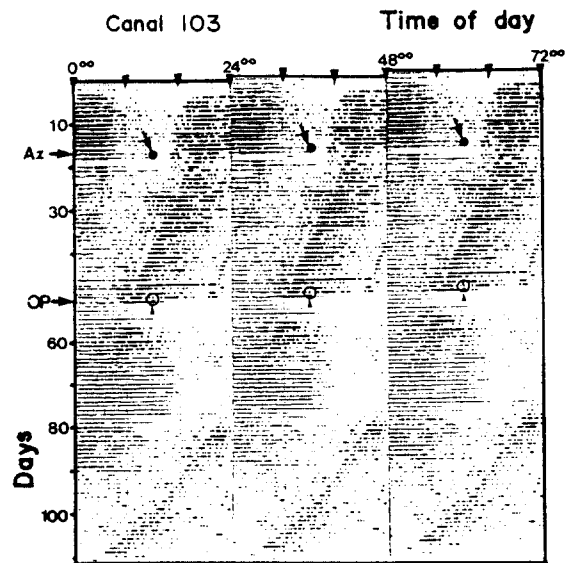


Fig. 10. Example of splitting of locomotor activity rhythm after azadirachtin injection (Az) and changes for a active phase and period lengthening after surgical transection (OP). (72 hours in horizontal direction due to duplication of original actogram)

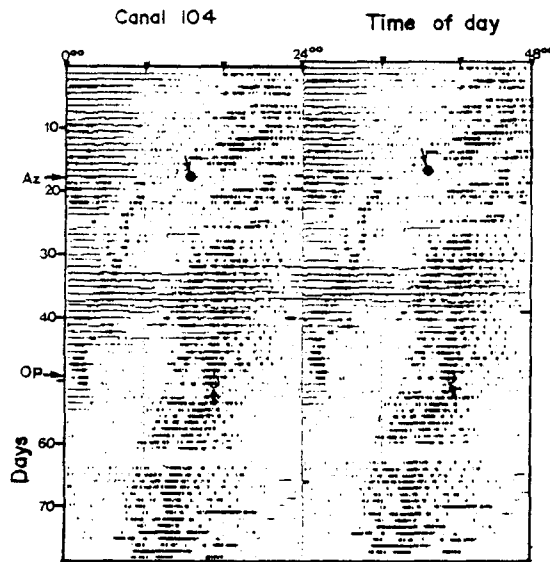


Fig. 11. Actogram showing the splitting by injection of azadirachtin (AZ) and disappearance after operation of optic lobe (OP).

어느 쪽 optic lobe이 Splitting의 활동주기 α_1 , α_2 중 어느 한 쪽을 지배하는지는 구별할 수가 없다.

수술한 후, 이들의 주기길이 변화가 있었으나, 비정상적인 활동리듬을 보이는 것을 제외하고는 수술 전보다 +0.01 h변화를 보였다. 이는 또한 optic lobe의 어느 한쪽이든 주기길이 변화를 일으킬 수 있는 조절기를 포함하고 있거나, optic lobe이 조절기 그 자체이어서, Azadirachtin이 이 부분에 효과를 보인것은 틀림없다.

고찰

Azadirachtin에 의한 주기길이의 변화

일정한 조건에서 *Leucophaea maderae*의 평균 주기길이 23.74 ± 0.01h로 나타났다. 동물의 90%가 Azadirachtin을 주사한 후 0.17 h가 짧아진 주기를 보였다. 본 실험과 비교하기 위해 주기길이를 단축시키는 또 다른 물질과 예들은 다음과 같은 실험에서도 볼 수 있다.

같은 곤충 *Leucophaea maderae*에서 Engelmann

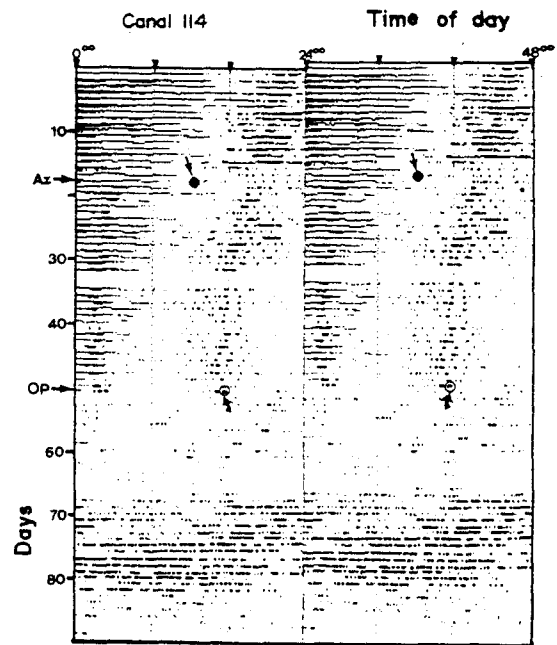


Fig. 12. Actogram of a cockroach in which the splitting effect of azadirachtin (AZ) on locomotor activity rhythm occurred arrhythmical locomotor activity after surgical transection (OP).

and Casper (1984)가 Rb^+ 에 의해 주기가 짧아지는 것을 관찰할 수 있었고, Mack (1980)의 실험에서도 *Drosophila*가 K^+ 이온에 의해 활동주기가 역시 단축되는 결과를 얻었으며, 박쥐에서는 subbaraji (1981)가 보편적으로 주기연장효과를 보이는 Li^+ (Reinhard 1983, Schmid and Engelmann 1986)에 의해 반대현상이 나타남을 증명하였다.

Rembold (1984)의 언급에 따르면 Azadirachtin이 곤충의 corpora cardiaca에서 호르몬 PTTH와 ATH의 합성을 조절, 분비토록하는 신경분비계에 영향을 준 결과로써 혈림프로 호르몬이 분비되는 것을 감소 또는 저해시키는 작용으로 나타났을 것이다. *Leucophaea maderae*의 optic ganglion에 위치한 주기조절 중심기관을 pars intercerebralis가 분명히 관여함으로써 주기가 단축되는 결과를 보였을 것으로 설명할 수 있다. 그리하여 실험결과에서 나타났듯이 Azadirachtin의 양이 증가함에 따라 신경분비계에

미치는 영향이 점차 증가하여 주기길이가 단축되는 현상을 보였을 것이다. 이 같은 영향은 역시 동물의 내생적 주기길이에 도 미쳐 Azadirachtin을 주사하기 전인 본래의 주기가 평균보다 짧은 동물보다 긴 주기를 지닌 동물에서 더 현저히 단축되는 양상으로 나타났다(Fig. 9).

Splitting (Figs. 4 and 5)

*Mesocricetus*나 *Teleogryllus*는 약한 적색광이 아닌 LL상태에서 아무런 영향이 없이도 Splitting이 나타났다고 Wiedenmann (1983)과 Davis and Gorski (1984)의 연구에서 각각 밝혔고, 또 Wiedenmann의 실험에서는 *Teleogryllus*가 온도 변화에도 역시 같은 현상을 보였었다. *Mesocricetus*의 뇌하수체에 손상을 입었을 경우 활동주기에 Splitting이 나타났으며 마찬가지로 본 실험과 같은 실험동물인 *Leucophaea maderae*나 *Hemideina*는 빛으로 자극을 준 이후 Splitting현상을 보였다고 Wiedenmann (1977)과 Christensen and Lewis (1982) 실험에서 각각 증명하였다. 이로 보아 Splitting은 두개의 활동주기 리듬조절기관(Oscillators)에 어떠한 영향이 주어짐으로써 각각의 주기가 나타나는 현상이 분명해진다.

이 같은 현상결과에 의해 Azadirachtin의 영향을 받아 실험동물의 40 %가 두개의 리듬조절기관으로 작동되도록 나타나고 나머지는 그 기준에 미치지 못하여 한개의 활동주기만을 보이게 된 것이다. 이를 더욱 확실하게 하기 위해 Splitting이 나타나는 동물에서 *Leucophaea maderae*의 활동주기에 큰 역할을 보이는 optic lobe을 수술(Nishiitsutsuji-Uwo and Pittendrigh 1968 a, b와 Page 1982)함으로써 증명된다.

동물의 일부는 오른쪽 optic lobe을, 다른 일부는 왼쪽 optic lobe을 뇌로부터 절단한 후 반응을 관찰한 결과 한마리도 예외없이 모두 Splitting이 사라졌다. 이 같은 결과는 optic lobe이(에서) 활동주기리듬에 영향을 미친다는 것을 확증할 수 있는 동시에 Azadirachtin에 의해 두개의 조절기관이 Splitting현상으로 활성화 되도록 활성화 기준에 변화를 주었을 것으로 추측할 수 있다.

본 실험의 좀 더 확실한 결과를 얻기 위해 통계학적으로 충분한 동물의 수술이 필요할 것이며, 또한 optic lobe의 생리학적 변화를 직접 측정할 수 있어 활성화 변화 및 리듬현상변화를 관찰할 수 있는 고도의 실험적 기술이 절실히 요구되어 개발추진 중에 있다.

인용문헌

- Barkenol, M. and F. Weber, 1981. Sind auch bei holometabolen Insekten circadiane Schrittmacher der Aktivität in den optischen Ganglien lokalisiert? *Mitt. dtsh. Ges. allg. angew. Entomol.* **3**:223-227.
- Brady, J., 1967a. Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. I. The role of the corpora cardiaca, brain and stress. *J. Exp. Biol.* **47**:153-163.
- Brady, J., 1967^b. Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. II. The role of the sub-oesophageal ganglion and ventral nerve cord. *J. Exp. Biol.* **47**:165-178.
- Bünning, E., 1958. Die physiologische Uhr. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg
- Butterworth, J. H. and E. D. Morgan, 1968. Isolation of a substance that suppresses feeding in locusts. *Chem. communications.* **23**:24.
- Christensen, N. D. and R. D. Lewis, 1982. The circadian locomotor rhythm of *Hemideina thoracica* (Orthoptera; Stenopelmatidae): the circadian clock as a population of interacting oscillators. *Physiol. Entomology* **7**:1-13.
- Cymborowski, B., 1973. Control of the circadian rhythm of locomotor activity in the house cricket. *J. Insect Physiol.* **19**:1423-1440.
- Davis, F. C. and R. A. Gorski, 1984. Unilateral lesions of the hamster suprachiasmatic nuclei: evidence for redundant control of circadian rhythms. *J. Comp. Physiol.* **154**:221-232.
- Engelmann, W. and H. Casper, 1983. Effect of RbCl on the circadian rhythm of locomotor activity in the cockroach. *J. interdiscipl. Cycle Res.* **14**:17-21.
- Engelmann, W. and M. Schrepf, 1980. Membrane models for circadian rhythms. In: Smith, K. C. (ed.): Plenum press New York, London, pp. 49-86.
- Garcia, E. S. and H. Rembold, 1984. Effects of azadirachtin on ecdysis of *Rhodnius prolixus* (Fourth-Instar Nymphs). *J. Insect Physiol.* **30**:939-941.
- Mack, J., 1980. Das Multioszillatorsystem von *Drosophila*. Dissertation, Universität Tübingen, FRG.
- Nishiitsutsuji-Uwo, J. and C. S. Pittendrigh, 1968 a. Central nervous system control of circadian rhythmicity of the cockroach. II. The pathway of light signals that

- entrain the rhythm. *Z. Vergl. Physiol.* **58**:1-13.
- Nishiitsutuji-Uwo, J. and C. S. Pittendrigh, 1968 b. Central nervous system control of circadian rhythmicity of the cockroach. III. The optic lobes, locus of the driving oscillation? *Z. Vergl. Physiol.* **58**:14-46.
- Page, T. L., 1982. Extraretinal photoreception in entrainment and photoperiodism in invertebrates. *Experientia* **38**:1007-1013.
- Page, T. L., 1983. Regeneration of the optic tracts and circadian pacemaker activity in the cockroach *Leucophaea maderae*. *J. Comp. Physiol.* **152**:231-240.
- Pittendrigh, C. S., 1960. Circadian rhythms and the circadian organisation of living systems. Cold Spring. *Harb. Symp. Quant. Biol.* **25**:155-184.
- Redfern, R. E., J. D. JR. Warthen, E. C. Uebel, and G. D. JR. Mills, 1981. The antifeedant and growth disruption effects of Azadirachtin on *Spodoptera frugiperda* and *Oncopeltus fasciatus*. In: Natural Pesticides from the Neem Tree (*Azadirachta indica* A. Juss) (H. Schmutterer ed.). Eschborn, pp. 129-136.
- Reinhard, P., 1983. Die Wirkung von Lithium auf das circadiane Verhalten von Schaben und Hamstern in Lichtprogrammen verschiedener Periodenlänge. Dissertation, Universität Tübingen, FRG.
- Rembold, H., 1984. Secondary plant products in insect control, with special reference to the Azadirachtins. In: Advances in Invertebrate Reproduction 3. (W. Engels et al. eds.). Elsevier Science Publishers, B. V. pp. 481-491.
- Rembold, H. and K. P. Sieber, 1981. Inhibition of oogenesis and ovarian ecdysteroid synthesis by Azadirachtin in *Locusta migratoria migratorioides* (R. & F.). *Z. Naturforsch.* **36c**:466-469.
- Robbins, W. E., J. N. Kaplanis, M. J. Thompson, T. J. Shortino, C. F. Chojen, and S. C. Joyner, 1968. Ecdysones and analogs: Effects on development and reproduction of Insects. *Science* **161**:1158-1159.
- Roberts, S. K., 1974. Circadian rhythms in cockroaches: Effects of optic lobe lesions. *J. Comp. Physiol.* **88**:21-30.
- Schmid, H. P. and W. Engelmann, 1986. Effects of Li⁺ and Rb⁺ and of the K⁺-channel blocker T. E. A. on the circadian activity in the Housefly *Musca domestica*. *J. interdiscipl. Cycle Res.* **16**:324.
- Schmutterer, H., and H. Rembold, 1980. Zur Wirkung einiger Reinfractionen aus Samen von *Azadirachta indica* auf Fre β -aktivität und Metamorphose von *Epilachna varivestis* (Col. Coccinelidae). *Z. ang. Ent.* **89**:179-188.
- Siegel, M., 1956. Nonparametric statistic for the behavioral science. McGraw-Hill, New York, Toronto, London.
- Steets, R., 1975. Die Wirkung von Rohextraktion aus den Meliaceen *Azadirachta indica* und *Melia azederach* auf verschiedene Insektenarten. *Z. ang. Ent.* **77**:306-312.
- Subbaraji, R., 1981. Effect of lithium chloride on the circadian rhythm in the flight activity of the microchiropteran bat, *Taphozous melanopogon*. *Z. Naturforsch.* **36c**:1068-1071.
- Tomioka, K. and Y. Chiba, 1984. Effects of nymphal optic nerve severance or optic lobe removal on the circadian locomotor rhythm of the cricket, *Gryllus bimaculatus*. *Zool. Science* **1**:375-382.
- Weber, E., 1980. Grundriß der biologischen Statistik, 8. Aufl. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Wiedenmann, G., 1977. Two activity peaks in the circadian rhythm of the cockroach *Leucophaea maderae*. *J. interdiscipl. cycle Res.* **8**:378-383.
- Wiedenmann, G., 1978. Eigenschaften von 2 Tagesrhythmen bei Schaben *Leucophaea maderae* F. und *Blaberus fuscus* B. Dissertation, Universität Tübingen, FRG.
- Wiedenmann, G., 1980. Two peaks in the activity rhythm of cockroaches controlled by one circadian pacemaker. *J. Comp. Physiol.* **137**:249-254.
- Wiedenmann, G., 1983. Splitting in a circadian activity rhythm: The expression of bilaterally paired oscillators. *J. Comp. Physiol.* **150**:51-60.
- Zanno P. R., I. Miura, and K. Nakanishi, 1975. Structure of the insect phagorepellent Azadirachtin. Application of PRFT/CWD Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance 75.

(Accepted August 25, 1989)

**Diversion of locomotor activity rhythm and neural control
by Azadirachtin in *Leucophaea maderae***

Sang-Zin Han (Department of Biology, Hallym university, Chuncheon, 200-702 S-Korea)

Azadirachtin shortens the period length of the locomotor activity rhythm in the circadian rhythm of *Leucophaea maderae* and induces splitting of this rhythm in two components in about 40 % of the animals. The phase relationship between the two components is 180°. Both shortening of period and splitting are more pronounced in animals processing longer periods before the injection of azadirachtin. Splitting disappears after the surgical transection of optic lobe.