

기후변화에 대한 곤충의 반응



강원대학교 산림과학부 산림환경보호학전공

정종국

곤충의 대발생은 기후변화 때문인가?

기후변화가 불러온 '매미나방의 습격'

입력 : 2020.06.13 12:11 주영재 기자

전국 곳곳에서 매미나방 유충 '창궐'

지난 겨울 이상 고온으로 개체수 증가... 산림과 과수에 큰 피해 입혀

수돗물 유충에 산 속 대벌레 때까지... '곤충의 습격', 원인은 기후변화

김송이 기자

업데이트 2020.07.23. 07:05

올 여름 전국 곳곳에서 '곤충들의 습격'이 이어지고 있다. 인천을 포함한 일부 지역에서 갈따구 등의 유충이 수돗물에 섞여 나오는가 하면 난데없이 대벌레, 매미나방의 개체수가 급증하기도 했다. 전문가들은 기후변화로 인한 이상고온 현상을 주요 원인으로 지목한다.



지난 18일 이재오 전 국회의원이 자신의 트위터에 대벌레 사진을 공개하며 산림청에 방제 대책을 촉구했다.

관점이 있는 뉴스
프레시안
pressian.com

러브버그, 대벌레, 우린 '징그러운' 벌레를 혐오할 자격이 있을까?

[프레시안 books] <벌레를 사랑하는 기분> 정부희 우리곤충연구소 소장

이상현 기자 | 2022.07.13. 02:32:22

최근 서울 곳곳에 대량으로 발생해 사람들을 기겁하게 했던 '러브버그'나 2020년 공원 정자에 다닥다닥 붙어있던 대벌레까지. 보통 사람들은 벌레를 징그러운 존재로만 여긴다. 더 나아가 벌레는 민원의 대상이고, 살충제를 사용한 토벌의 대상이었다.

기후위기 속비상...아열대해충 '노랑알락하늘소' 제주 정착

☞ 고원상 기자 | ☎ 승인 2024.07.23 09:56

제주에 번식 불가능하던 해충, 용연계곡 일대에 정착
방제당국, 밀도 억제 위한 계획 수립 등 대책 마련 나



노랑알락하늘소. (사진=제주특별자치도)

곤충 대발생은 기후변화가 원인일까?

❖ 곤충은 지구에서 가장 다양성이 높은 생물군

= 많은 종과 상호작용

❖ **곤충 = 외온동물**

= 곤충은 외부 온도 변화에 민감하게 반응

❖ **짧은 세대 간격**

= 곤충은 1년 1세대 ~ n세대

❖ **높은 생식 능력(많은 알을 산란)**

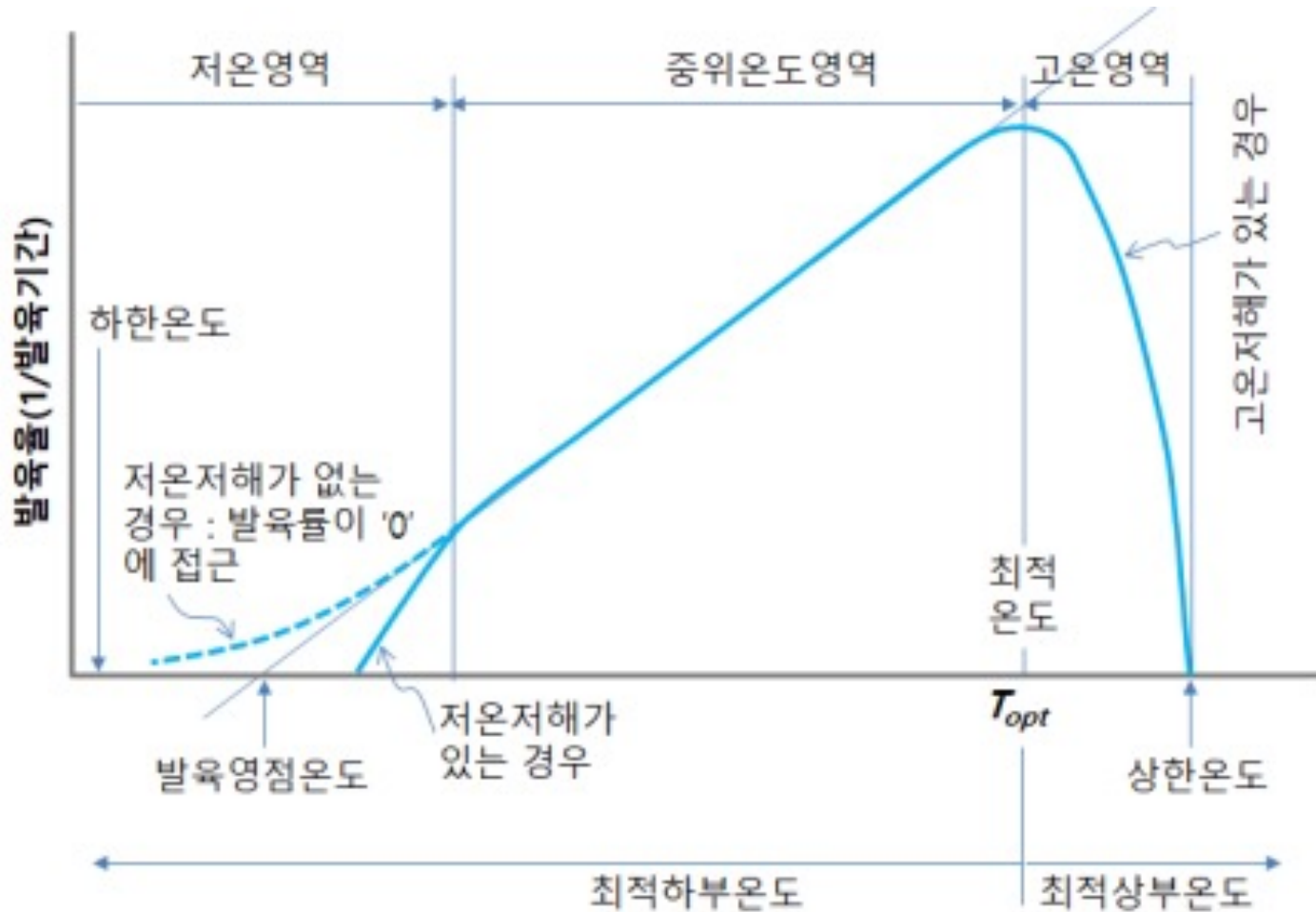
= 곤충은 수 백 ~ 수 천개의 알을 산란(/1마리)

❖ **뛰어난 환경 적응 능력**

= 곤충이 살지 못하는 환경은 거의 없음

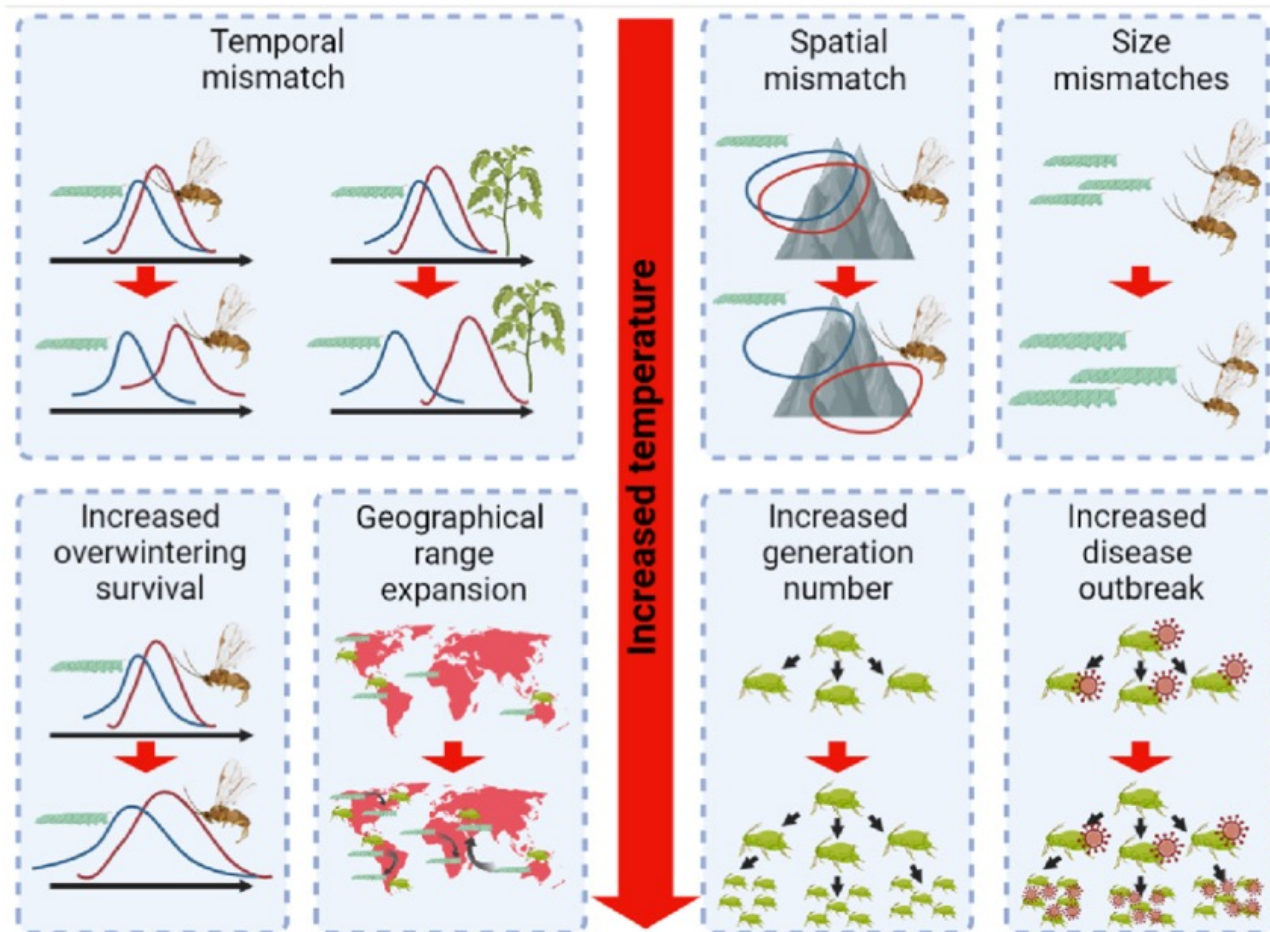
곤충의 발육과 온도

❖ 곤충 = 외온동물(ectotherm)



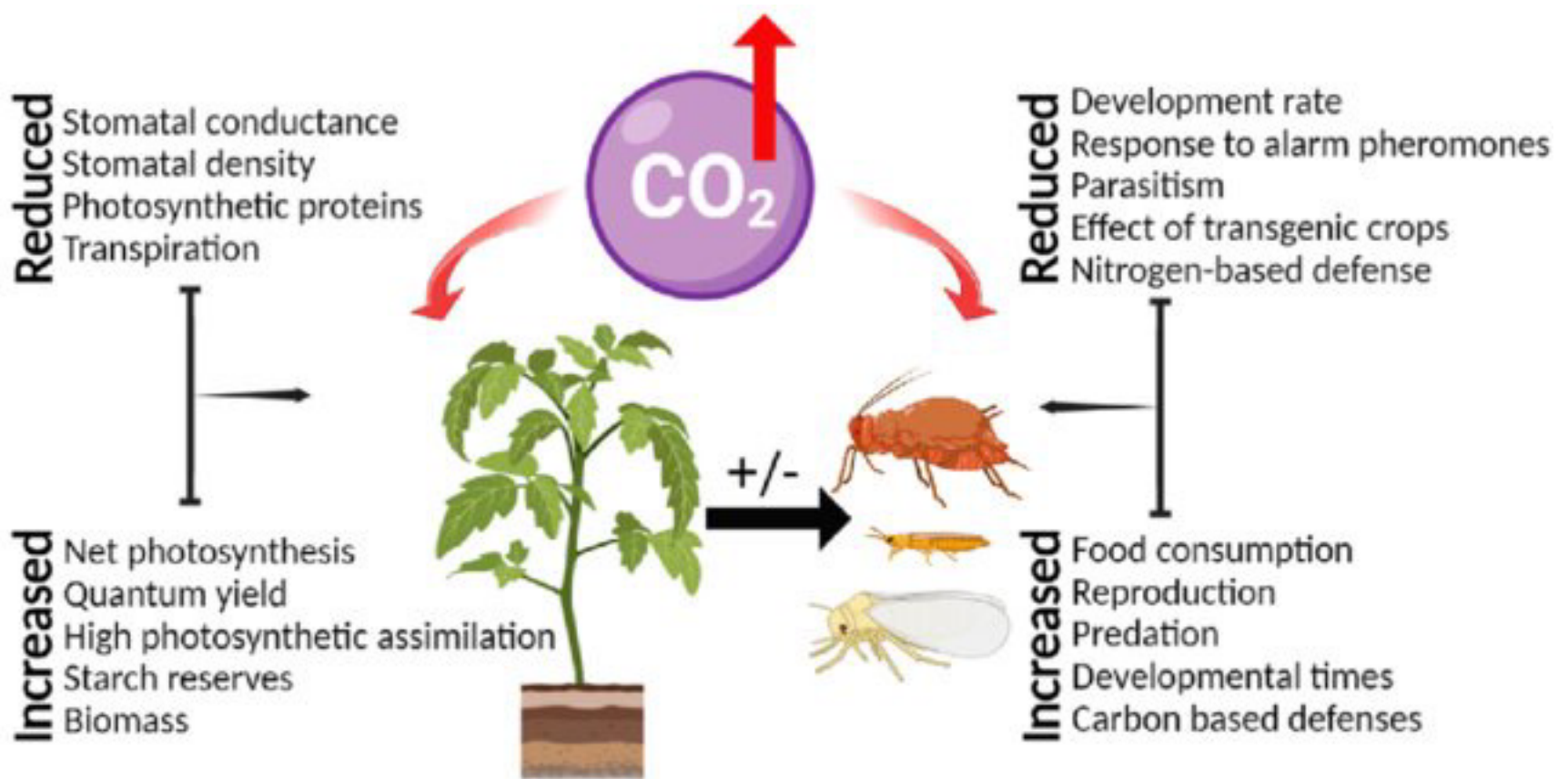
기후변화에 대한 곤충의 반응

❖ 온도 상승에 대한 곤충의 반응



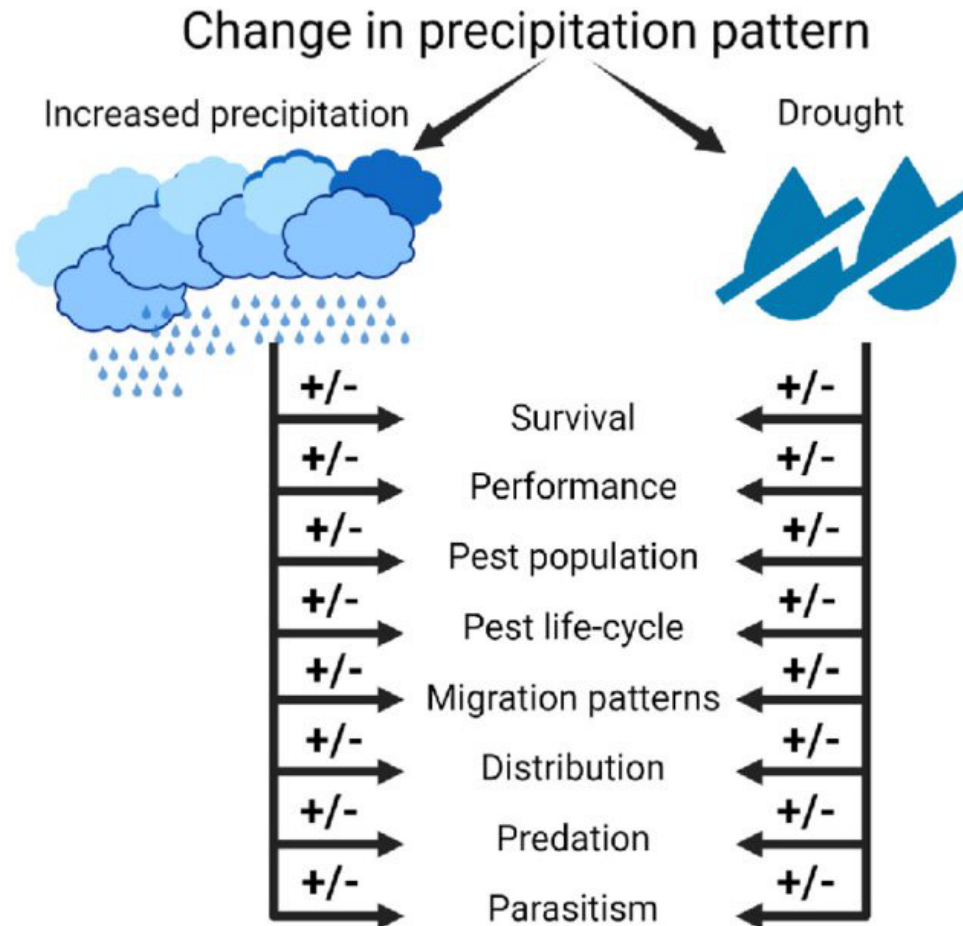
기후변화에 대한 곤충의 반응

❖ 이산화탄소 증가에 대한 곤충의 반응



기후변화에 대한 곤충의 반응

❖ 강수량 변화에 대한 곤충의 반응



기후변화에 대한 곤충의 반응

❖ 곤충 기능군간 비교

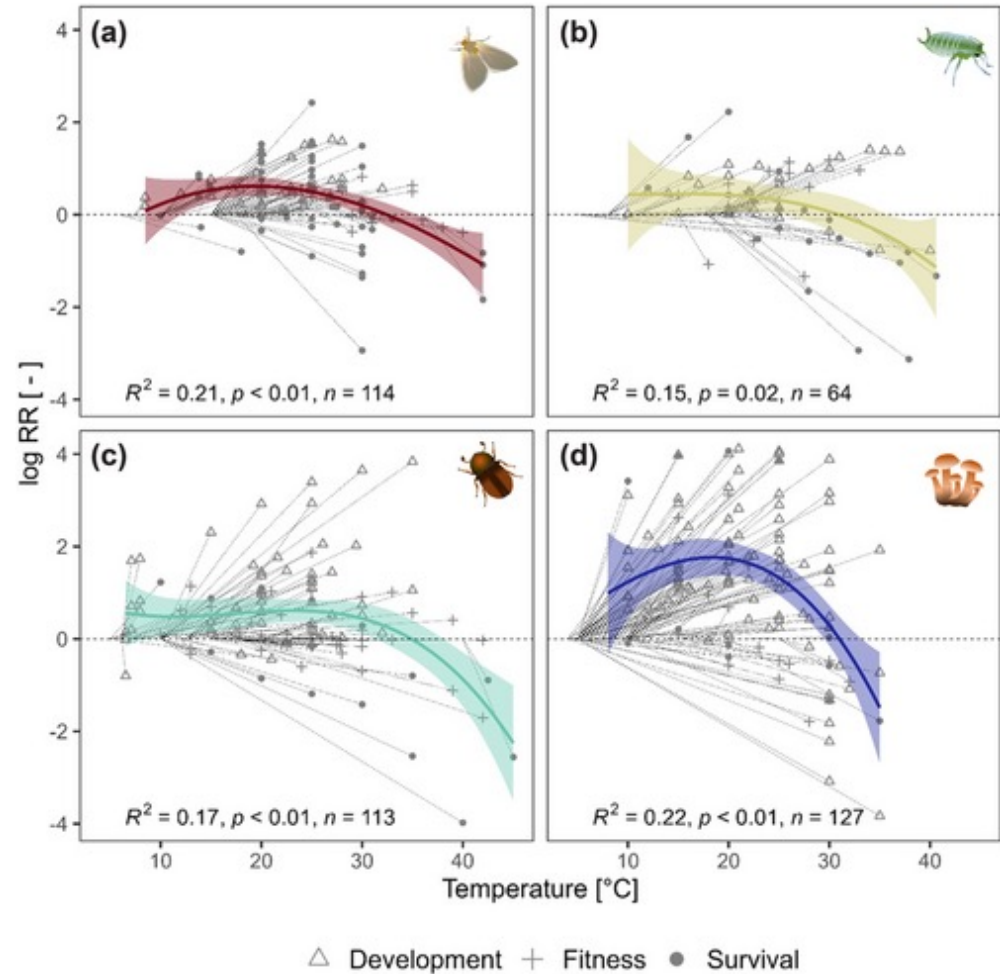
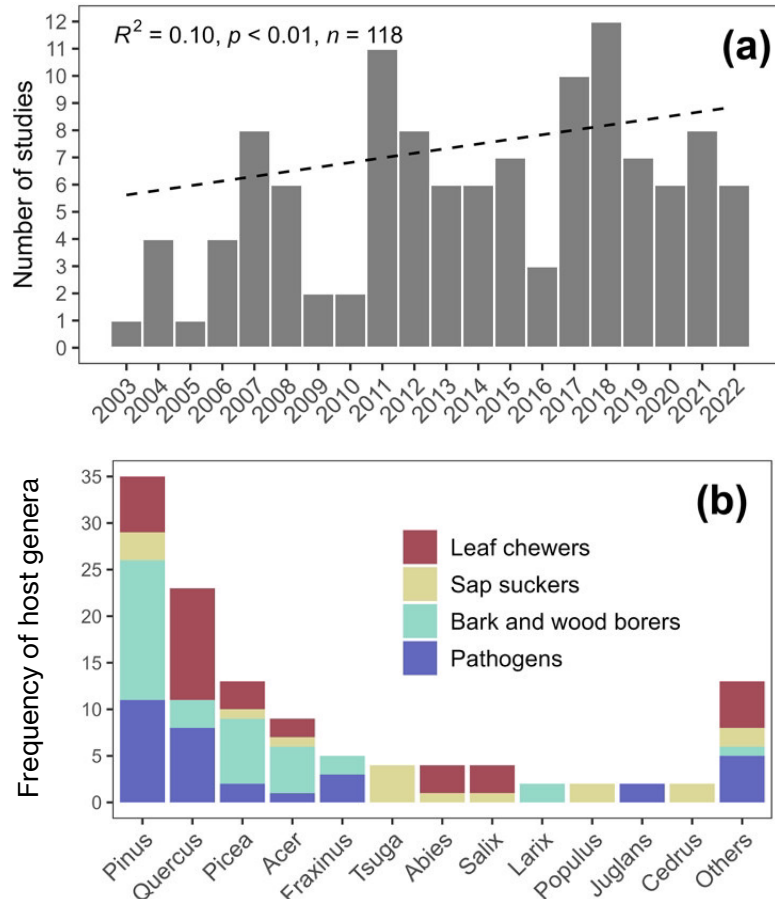
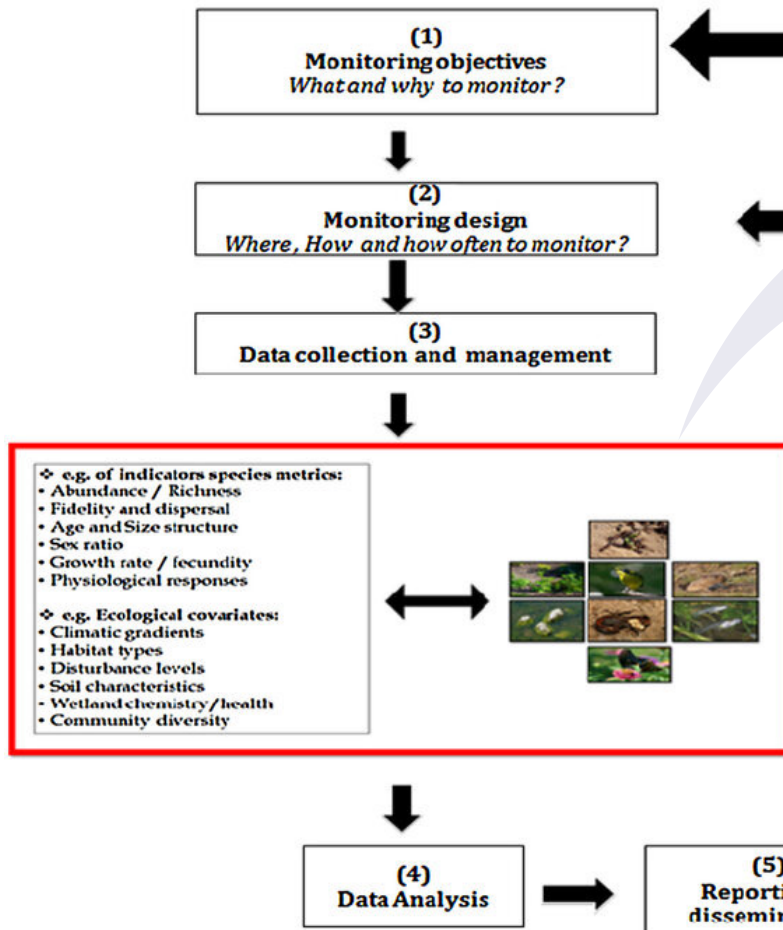


Figure 3. Log response ratio of pest performance of (a) leaf choppers, (b) sap suckers, (c) bark and wood borers, and (d) pathogens as a function of treatment temperature.

기후변화의 영향은 어떻게 알 수 있는가?

❖ 지표종(지표인자, indicators)의 선정과 모니터링

Position and common state variables of indicator species and relevant covariates in the cycle of ecological monitoring



종 분포
발생 시기
발생 세대 수
발생 밀도(대발생) 등

Fig. 6. The necessary processes of ecological monitoring and the position of indicators species and common related state covariates within the monitoring cycle.

지표종 선정 사례: 국립생물자원관

❖ 국내 기후변화 지표종 현황(100종 중 곤충 21종)

기후변화로 인해 계절활동, 분포역 및 개체군 크기 변화가 뚜렷하거나 뚜렷할 것으로 예상되어 지표화하여 정부에서 지속적인 조사·관리가 필요한 생물종을 선정(2024.9.30., 25종 교체)



지표종 선정 사례: 국립농업과학원

❖ 국내 기후변화 지표종 현황(곤충 19종, 거미 3종)

분류군	국명(학명)	평가점수
수서무척추동물 (7종)	왕우렁이(<i>Pomacea canaliculata</i>)	4.15(±0.62)
	물방개(<i>Cybister japonicus</i> Sharp)	3.94(±0.45)
	잔물땡땡이(<i>Hydrochara affinis</i>)	3.84(±0.53)
	애물땡땡이(<i>Sternolophus rufipes</i> Fabricius)	3.80(±0.31)
	꼬마줄물방개(<i>Hydaticus grammicus</i> Germar)	3.66(±0.31)
	물자라(<i>Appasus japonicus</i> Vuillefroy)	3.64(±0.39)
	애기물방개(<i>Rhantus pulverosus</i>)	3.51(±0.40)
나비.나방류 (5종)	남방노랑나비(<i>Eurema mandarina</i>)	4.01(±0.37)
	이화명나방(<i>Chilo suppressalis</i>)	3.97(±0.50)
	배추흰나비(<i>Pieris rapae</i>)	3.90(±0.44)
	호랑나비(<i>Papilio xuthus</i> Linnaeus)	3.87(±0.55)
	노랑나비(<i>Colias erate</i>)	3.65(±0.41)
거미류 (3종)	긴호랑거미(<i>Argiope bruennichi</i>)	4.18(±0.57)
	기생왕거미(<i>Larinioides cornutus</i>)	3.82(±0.67)
	각시어리왕거미(<i>Neoscona adianta</i>)	3.74(±0.50)
벌류 (4종)	등검은말벌(<i>Vespa velutha</i> Nigrithorax)	3.82(±0.67)
	털보말벌(<i>Vespa simillima simillima</i> Smith)	3.57(±0.69)
	장수말벌(<i>Vespa mandarinia</i> Smith)	3.53(±0.38)
	황말벌(<i>Vespa simillima xanthoptera</i> Cameron)	3.52(±0.51)
육상딱정벌레류 (4종)	남방폭탄먼지벌레(<i>Pheropsophus javanus</i>)	3.83(±0.75)
	폭탄먼지벌레(<i>Pheropsophus jessoensis</i> Morawitz)	3.62(±0.88)
	홍딱지반날개(<i>Platydracus brevicornis</i>)	3.52(±0.51)
	끝무늬녹색먼지벌레(<i>Chlaenius micans</i>)	3.50(±0.74)

지표생물 선정 기준에 대한 가중치 설문조사

1. 기후민감성
2. 농업생태계 상징성
3. 종조사 용이성
4. 종분류 용이성
5. 대중성
6. C.I.

지표종의 정의와 분류 체계

❖ Bioindicator의 정의

is a species or group of species that

- 1) readily **reflects the abiotic or biotic state of an environment**
- 2) represents the impact of environmental change on a habitat, community or ecosystem, or
- 3) is indicative of the diversity of a subset of taxa, or of wholesale diversity, within an area

❖ Bioindicator ≠ 한 종

→ 한 종 또는 여러 종의 그룹

지표종 선정 기준

❖ 곤충은 환경 변화에 대한 지표(단, 너무 민감하지 않아야...)

Fidelity (occupancy)

		Low	Medium	High
Specificity	Low	Rural		Tramp
	Medium	←	Indicator Detector species	→
	High	Vulnerable		Indicator Characteristic species

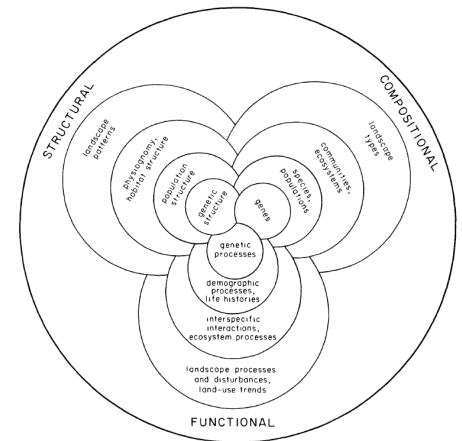
↑ fidelity & ↑ specificity
= rapid decline is possible = not good indicator

지표종 선정 기준

❖ Noss (1990) Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach

- 1) sufficiently sensitive to provide an early warning of change
- 2) distributed over a broad geographical area (widely applicable)
- 3) capable of providing a continuous assessment over a wide range of stress
- 4) relatively independent of sample size
- 5) easy and cost-effective to measure, collect, assay, and calculate
- 6) able to differentiate between natural cycles and those induced by anthropogenic stress
- 7) relevant to ecologically significant phenomena

곤충은 다양한 생물군 및 환경과 상호작용하는 유기체로
다양한 분야에서 (잠재적으로) 지표종 활용이 가능함



지표종 선정 해외 사례

❖ 연구 현황

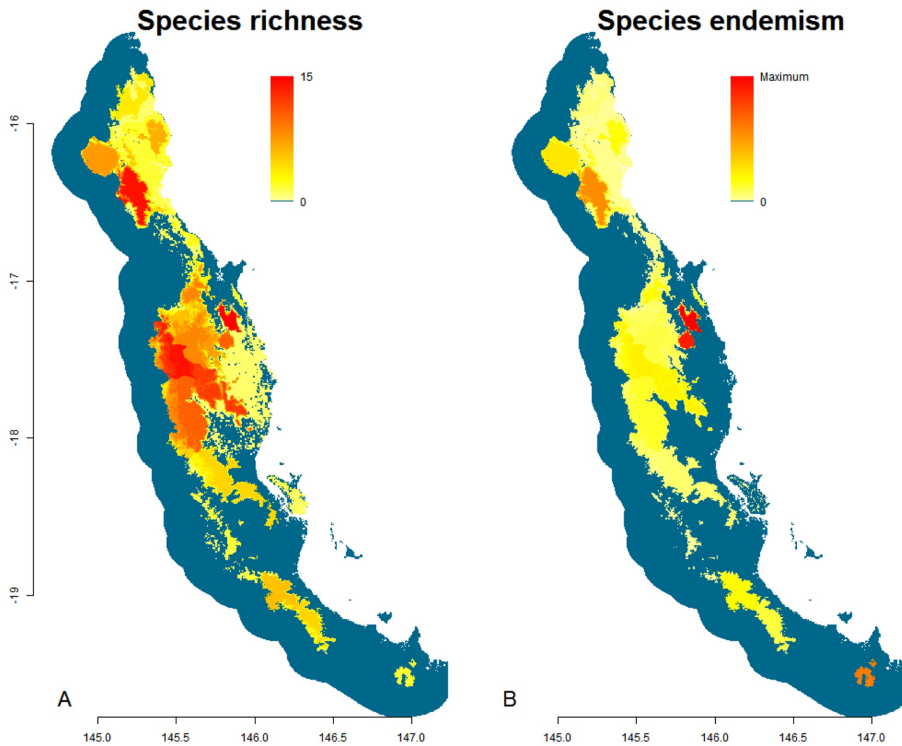
- 파리목
- 톡토기목
- 잠자리목
- 날도래목
- 벌목
- 딱정벌레목
- 나비목
- 노린재목
- 풀잠자리목
- 바퀴벌레목

TABLE 1. Bioindicators for specific variables in terrestrial and aquatic habitats.

Group	Biomonitoring	Habitat	References
(O) Diptera-(F) Chironomidae	pH/Acidification	Aquatic	Mousavi (2002)
	Nitrogen and Phosphorus	Aquatic	Brodersen and Lindegaard (1997)
	Heavy metals	Aquatic	Arimoro et al. (2018)
(F) Syrphidae	Heavy metals	Terrestrial	Anna et al. (2021)
(O)Diptera- (F) Sarcophagidae	Heavy metal (e.g., asbestos)	Terrestrial	Bartosova et al. (1997)
(O) Collembola-	Air pollution/Acid deposition	Terrestrial	Steiner (1995)
	Nitrogen Input	Terrestrial	Kopeszki (1997)
	Pesticides	Terrestrial	Frampton and Van Den Brink (2007)
	Contaminated soil	Terrestrial	Liu et al. (2018)
(O) Odonata-	Pesticides	Aquatic	Braby and Williams (2015)
	Heavy metals	Aquatic	Nummelin et al. (2007)
	Habitat disturbances	Aquatic	Shafie et al. (2017)
(O) Trichoptera-	Heavy metals	Aquatic	Aizawa et al. (1994)
	Coal mine runoff	Aquatic	Fernandez-alaez et al. (2002)
	Water pollution	Aquatic	Lindenmayer et al. (2000)
(O) Hymenoptera- (F) Formicidae	Degraded and reforested areas recovery	Terrestrial	Srivastava et al. (2017)
	Heavy metals	Terrestrial	Nummelin et al. (2007)
(O) Hymenoptera- (F) Apidae	Pesticides	Terrestrial	Burgio et al. (2015)
	Composite index	Terrestrial	Schweiger et al. (2005)
	Crop diversity	Terrestrial	Hendrickx et al. (2007)
	Heavy metals	Terrestrial	Porrini et al. (2003)
	Radionuclides	Terrestrial	Porrini et al. (2003)
(O) Coleoptera- (F) Carabidae	Habitat alteration	Terrestrial	Rainio and Niemela (2003)
	Heavy metal	Terrestrial	Lagisz (2008)
	Crop diversity	Terrestrial	Schweiger et al. (2005)
(F) Staphylinidae	Changes in agricultural techniques	Terrestrial	Bohac (1999)
(O) Lepidoptera-(F) Geometridae & Noctuidae	Heavy metals	Terrestrial	Heliövaara and Väisänen (1990)
(O) Hemiptera- (F) Gerridae	Heavy metals(e.g., Cd)	Aquatic	Jardine et al. (2005)
(O) Neuroptera- (F) Myrmeleontidae	Heavy metals	Terrestrial	Nummelin et al. (2007)
(O) Blattodea-	Soil ecosystem	Terrestrial	Duran-Bautista et al. (2020)

기후변화와 곤충 지표 분류군 사례

딱정벌레과: [Staunton et al. \(2014\) PLOS ONE 9\(2\): e88635](#)



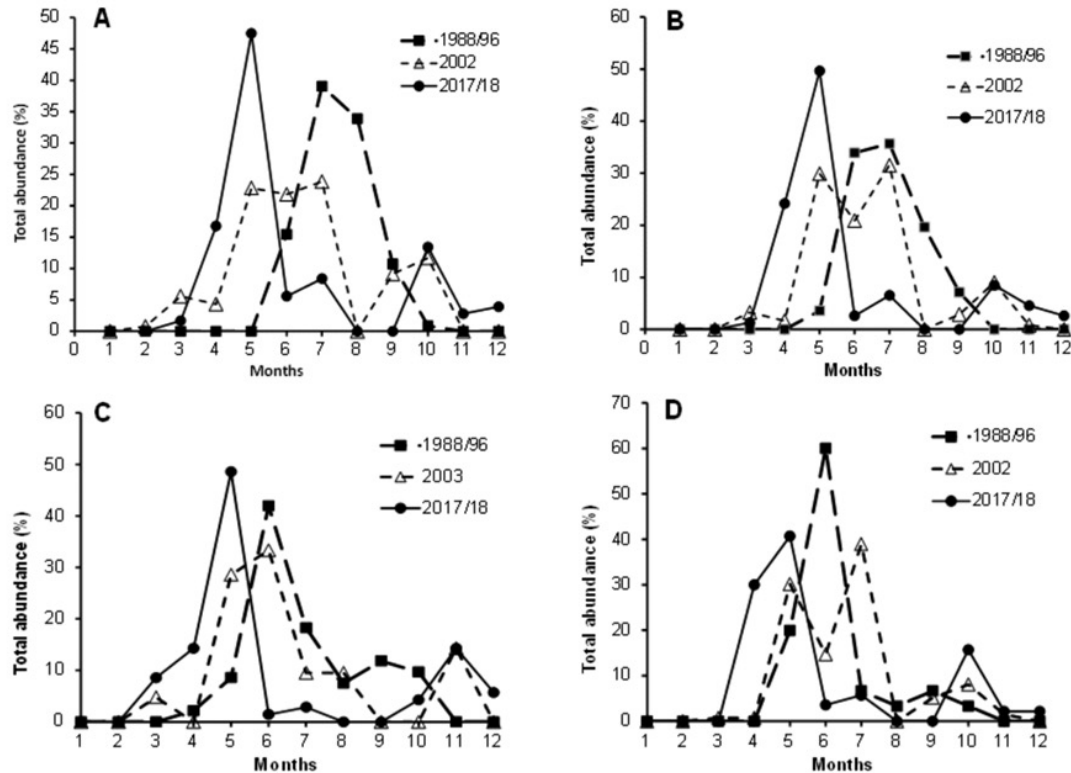
Projected Distributions and Diversity of Flightless Ground Beetles within the Australian Wet Tropics and Their Environmental Correlates

Figure 8. Models of flightless ground beetle species richness and endemism in the Wet Tropics bioregion.

A. Model of the species richness, calculated by the cumulative total of the modelled distributions of 43 flightless ground beetles within the Wet Tropics. Richness is indicated in a gradient from yellow (less rich) to red (highly rich). Blue areas do not contain distributions of any species. **B.** Model of the species richness weighted for endemism. The modelled distributions of the 43 flightless ground beetles were inversely weighted by range size and summed together. Each subregion is weighted whereby yellow areas contain proportionally few endemic species and red areas display a high proportion of endemics. Blue regions lack any species.

기후변화와 곤충 지표 분류군 사례

딱정벌레과: [Irmiler \(2022\) Eur. J. Entomol. 119: 183-190](#)

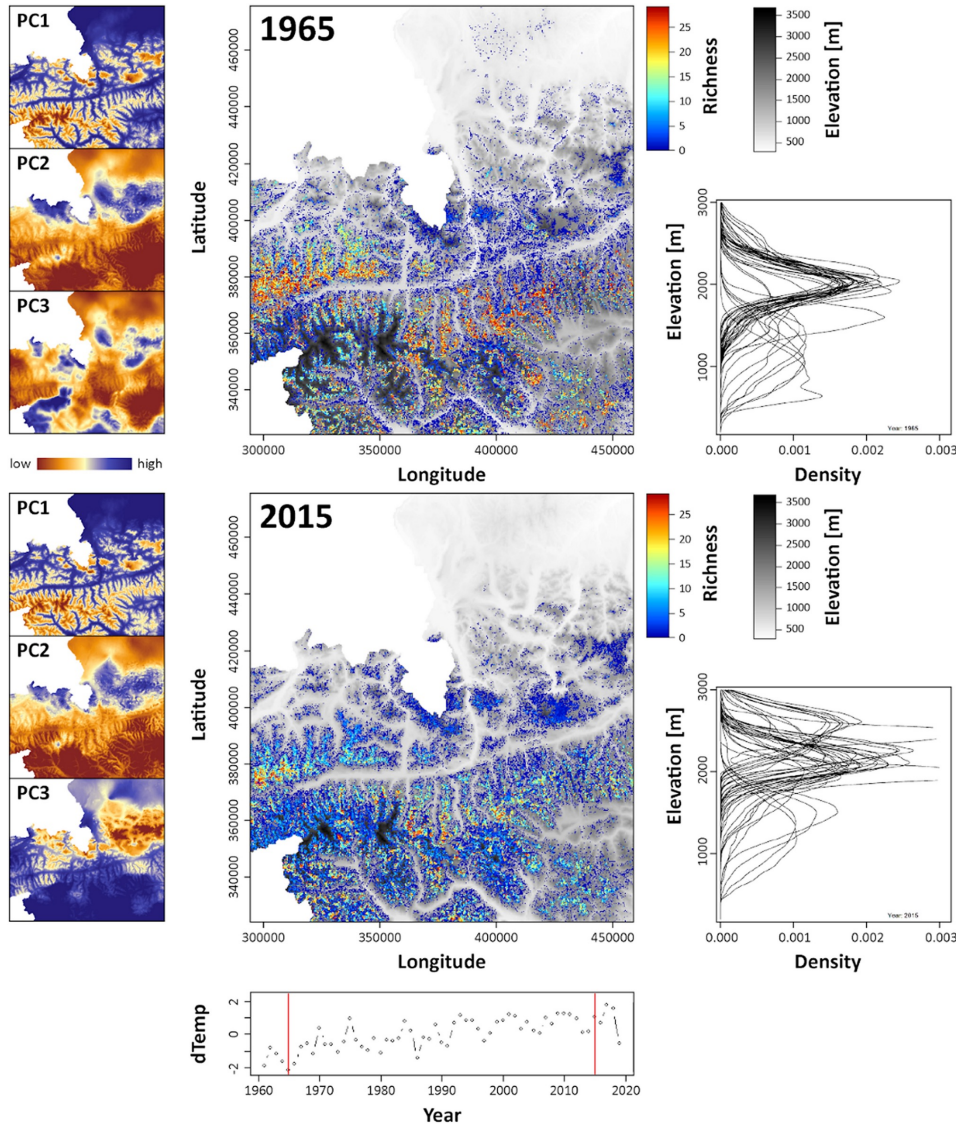


**Seasonal shift in
carabid phenology over
a period of 18 years**

Fig. 2. Percentage abundance recorded each month of four species in the three decades investigated. A – *Pterostichus melanarius*, B – *Agonum muelleri*, C – *Bembidion lampros*, D – *Carabus granulatus*.

기후변화와 곤충 지표 분류군 사례

나비목: Rödder et al. (2021) Scientific Reports 11: 14382



Climate change drives mountain butterflies towards the summits

Fig. 1. Differences in species richness patterns across the most extreme years 1965 and 2015. PC1-3 refer to the climate related principal components, which were used to train the SDMs (for factor loadings see Supplementary Table [S2](#) online); dTemp refers to the deviation of the annual mean temperature of a specific year relative to the median conditions 1961–2019. Density profiles represent the predicted potential distribution per species in different altitudes. Map projection is Lambert Conformal Conic 2SP.

기후변화와 곤충 지표 분류군 사례

나비목: **Swaay et al. (2009)** The impact of climate change on butterfly communities 1990-2009

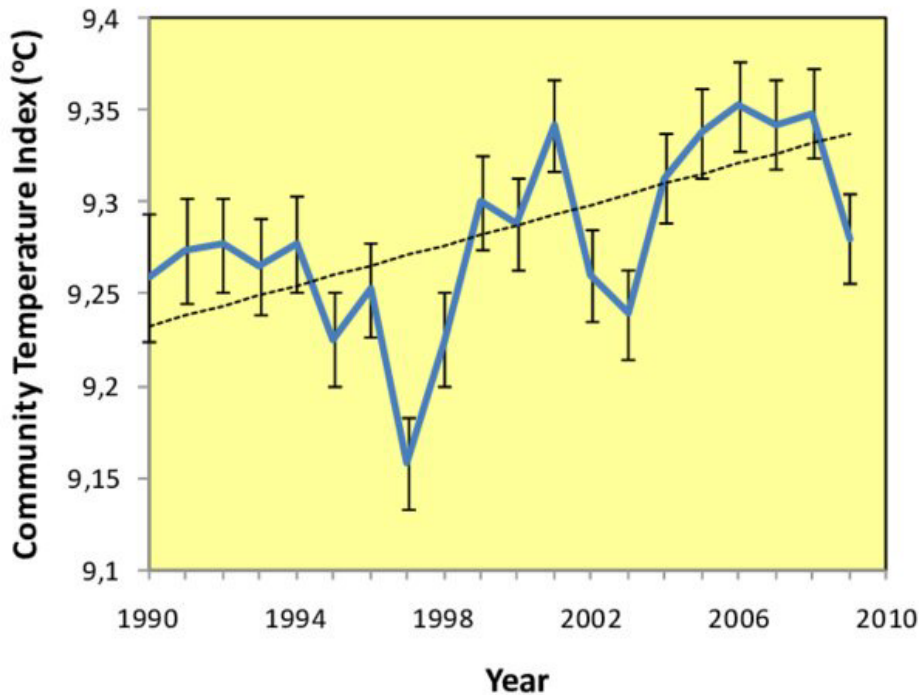
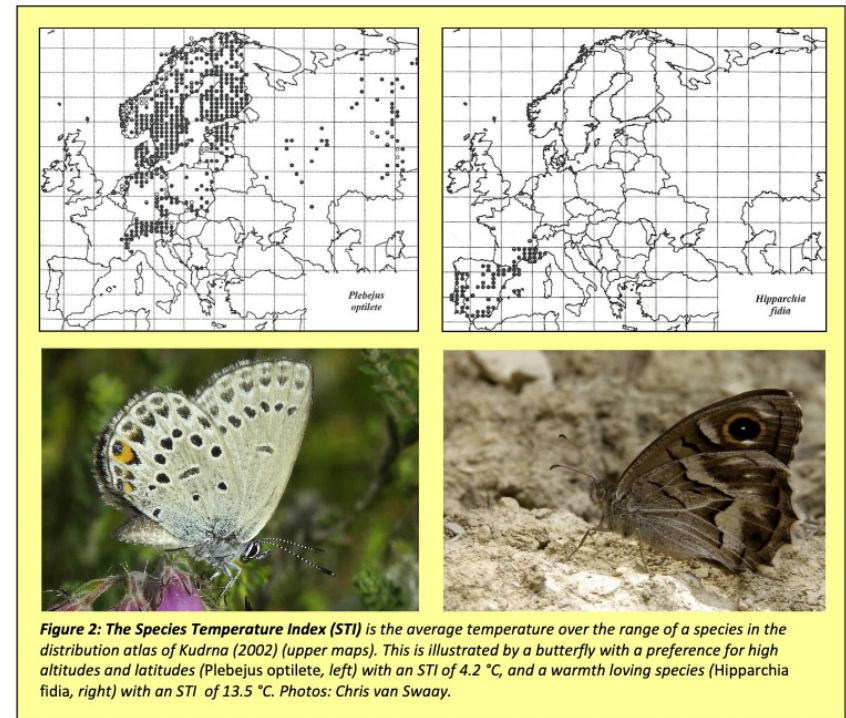


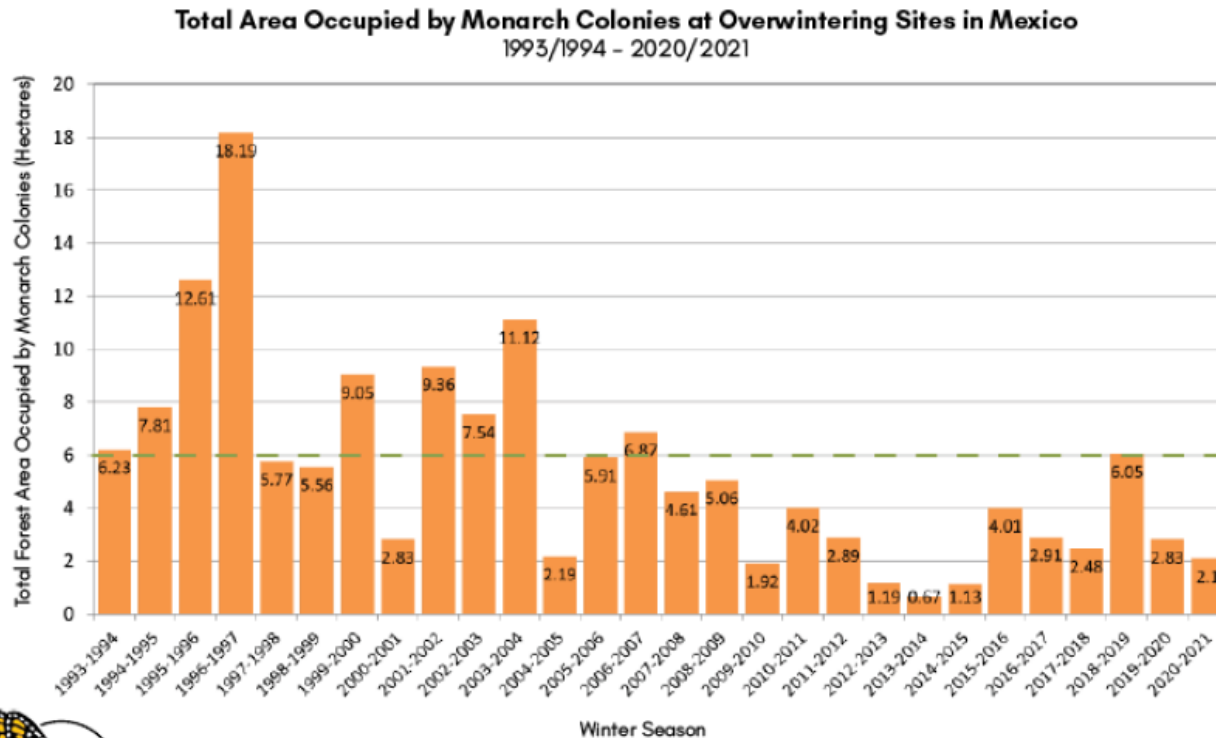
Fig. 1. The European Butterfly Climate Change Indicator. The indicator shows a significant increase of the Community Temperature Index (CTI) of $5.5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ per year. The dashed line illustrates the trend.



기후변화와 곤충 지표종 사례(카리스마)

제왕나비: <https://www.michiganpublic.org/>

There's more than one reason monarch butterfly populations are declining



- 1) 제초제
- 2) 기생충
- 3) 기후변화



Scientists estimate that a minimum of 6 hectares of overwintering monarchs is needed to sustain the eastern population (Semmens et al., 2016).

Data from 1994-2003 were collected by personnel of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) of the National Commission of Protected Natural Areas (CONANP) in Mexico. Data from 2004-2021 were collected by the WWF-Telcel Alliance, in coordination with the Directorate of the MBBR. 2000-01 population number as reported by Garcia-Serrano et al. in 2004.

기후변화와 곤충 지표종 사례(해충)

나무좀류: **Robbins et al. (2022)** *Global Change Biology* 28: 509-523

Warming increased bark beetle-induced tree mortality by 30% during an extreme drought in California

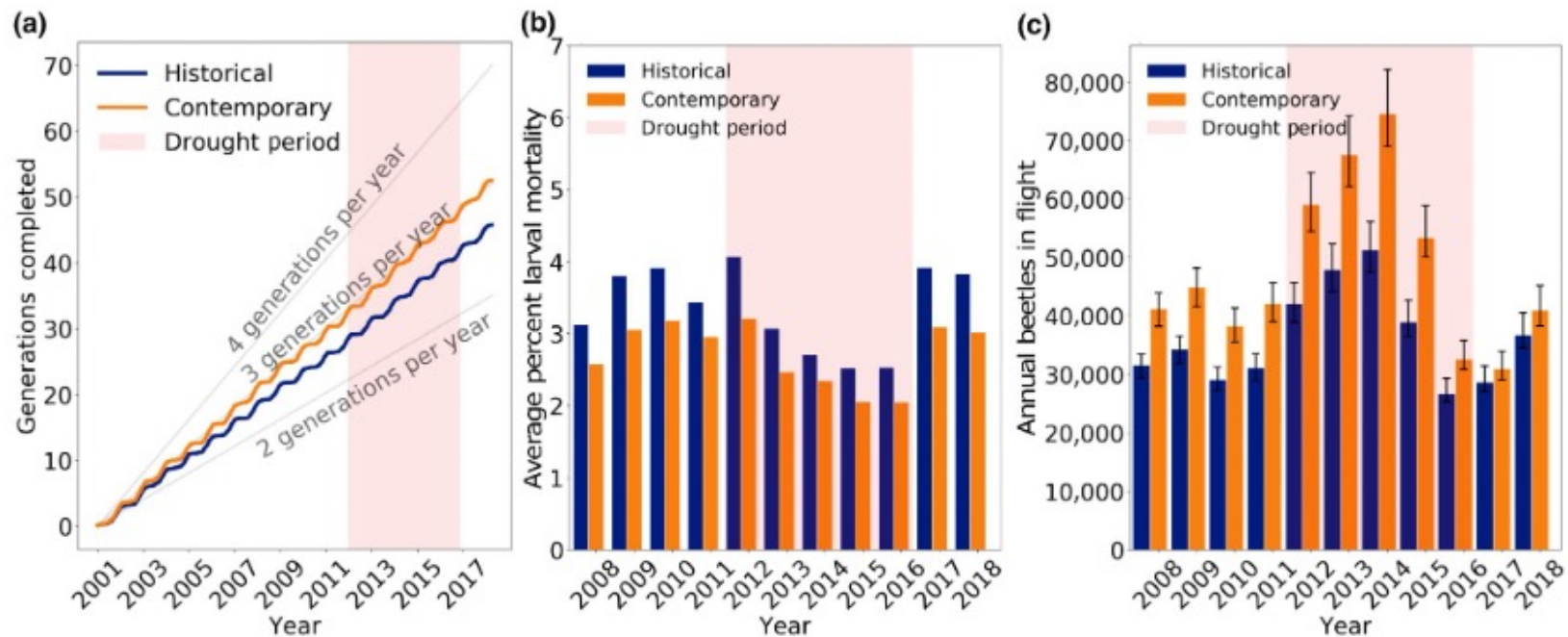


FIGURE 4 Mechanisms of warming influence on western pine beetle (WPB). (a) Cumulative number of WPB generations completed in the simulation under historical and contemporary climate. (b) Expected annual mean larval mortality rate under historical and contemporary climate. (c) Mean number of WPB in flight under historical and contemporary climate. Drought period refers to the overlapping years of meteorological drought (2012–2015) and lagged PP responses (2014–2016). Error bars represent the 95% confidence interval [Colour figure can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](https://onlinelibrary.wiley.com)]

기후변화에 대한 곤충의 반응 예측

❖ 기후변화에 따른 곤충의 대발생 현상

- 더 잦은 빈도로 발생하여 농림업의 피해 증가
- 생태계에 더 강한 충격을 줄 것으로 예상(소나무 등 침엽수의 쇠퇴를 가속화)

❖ 기후변화에 따른 곤충의 분포 변화

- 지리적 분포 범위의 확장으로 인한 침입종 증가!
(= 지리적 분포 범위의 감소에 따른 멸종 가능성 증가!)
- 종의 분포 범위 변화에 따른 종간 상호작용 변화!

❖ 종간 상호작용 변화에 따른 공진화? 절멸(또는 멸종)?

- 식물과 화분매개곤충의 발생시기간 간극이 커지면 멸종 식물의 증가 가능
- 곤충을 먹이로 하는 상위 영양단계의 생물에 대한 부정적 영향

경청하여 주셔서 감사합니다.

