南京農業大學
NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY

CForBio讲坛六十二讲

昆虫迁飞及其监测预警

胡　高

南京农业大学 植物保护学院



联系电话：025-84399880 / 18913948896

Email: hugao@njau.edu.cn



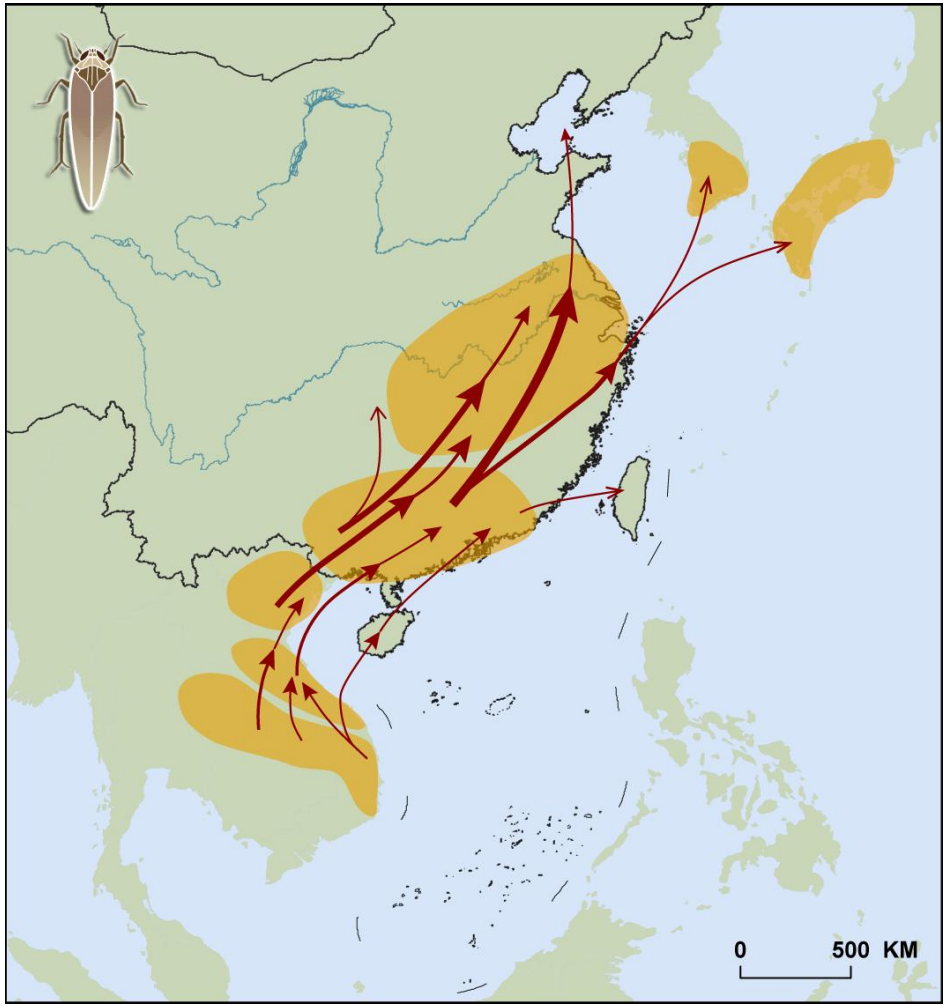
1. 什么是迁飞?
2. 为什么迁飞?
3. 如何迁飞? (风载迁飞 & 定向导航)
4. 生态功能及其影响

Painted Lady Butterfly, Morocco, 2019 (Stefanescu Constanti)

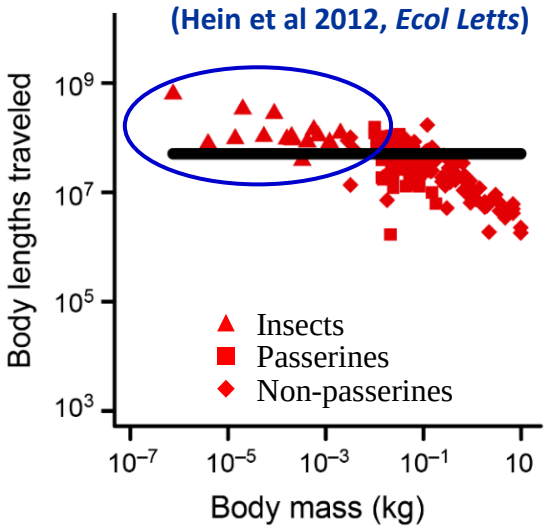
Q1：什么是迁飞?

与候鸟类似，昆虫季节性远距离迁飞





褐飞虱春夏季北迁路线图



按身体比例

昆虫是迁移距离最长的动物

小红蛱蝶和黄蜻单次迁飞可达 3500-4000 km

Q1：什么是迁飞?

微渺之躯，御九天长风，跨越山河的万里征途

昆虫迁飞是国际关注的前沿领域







How do migratory animals know where they're going?

迁徙动物如何知晓它们的归途?

Q1：什么是迁飞?

昆虫远距离迁飞不同于候鸟




个体小

寿命短

飞行能力弱

1. 多世代接力迁飞 → 新手

没有个体能完成整个路线

完全依靠世代遗传的内在”基因“

2. 连续繁殖

无固定繁殖区

北迁时种群增长快，极易成灾

3. 风载迁飞 & 定向导航

数百上千米高空，借助快速气流迁飞

普遍存在定向等适应性行为



王雨蒙

生理调控分子机制



万贵钧　高凡淇

定向导航行为机制



张诗妍　高博雅　师旭　张雪艳

迁飞规律 & 灾变机制

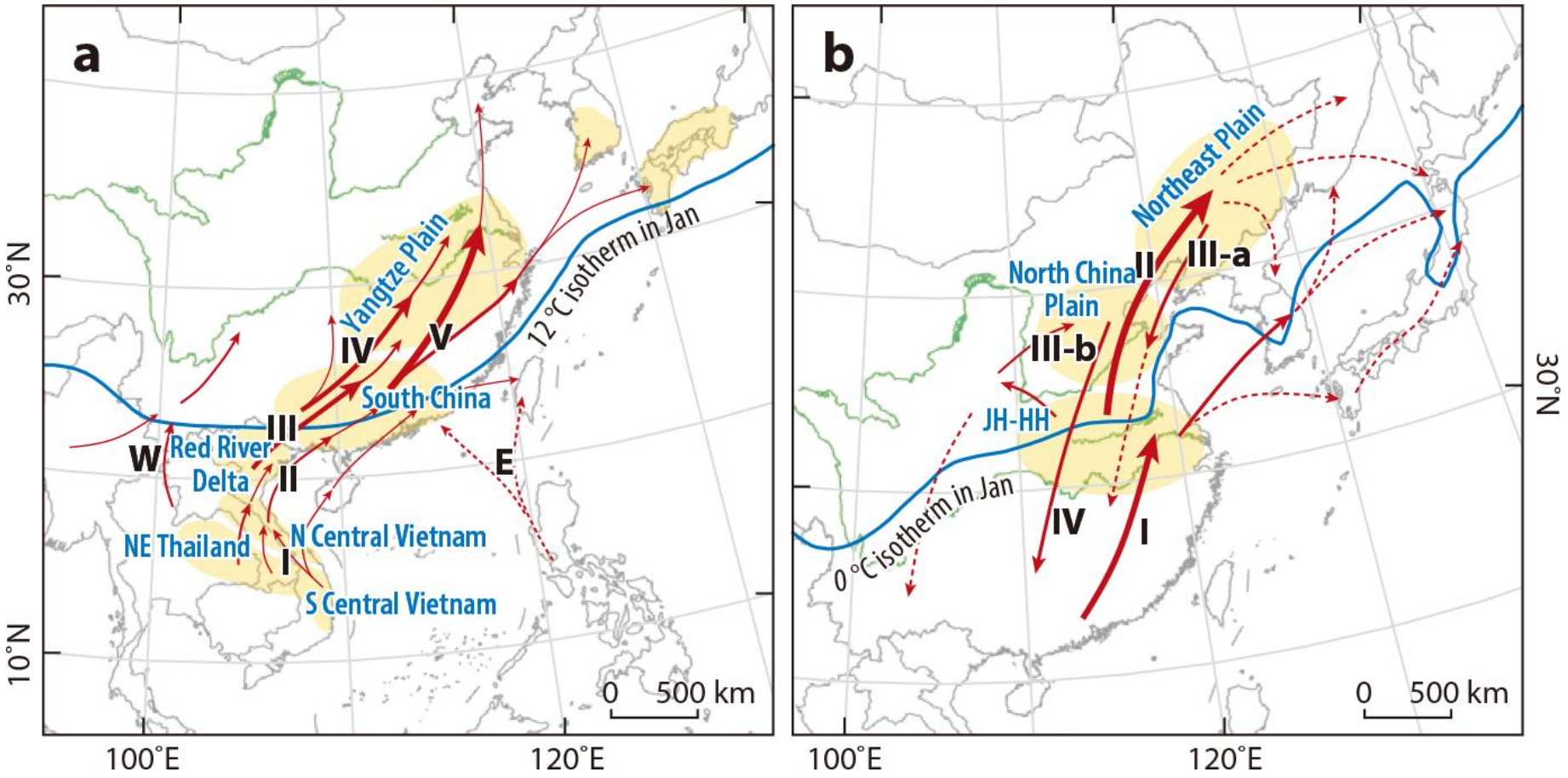



Q1：什么是迁飞?

亚洲东部昆虫迁飞格局

褐飞虱迁飞路线

东方粘虫迁飞路线

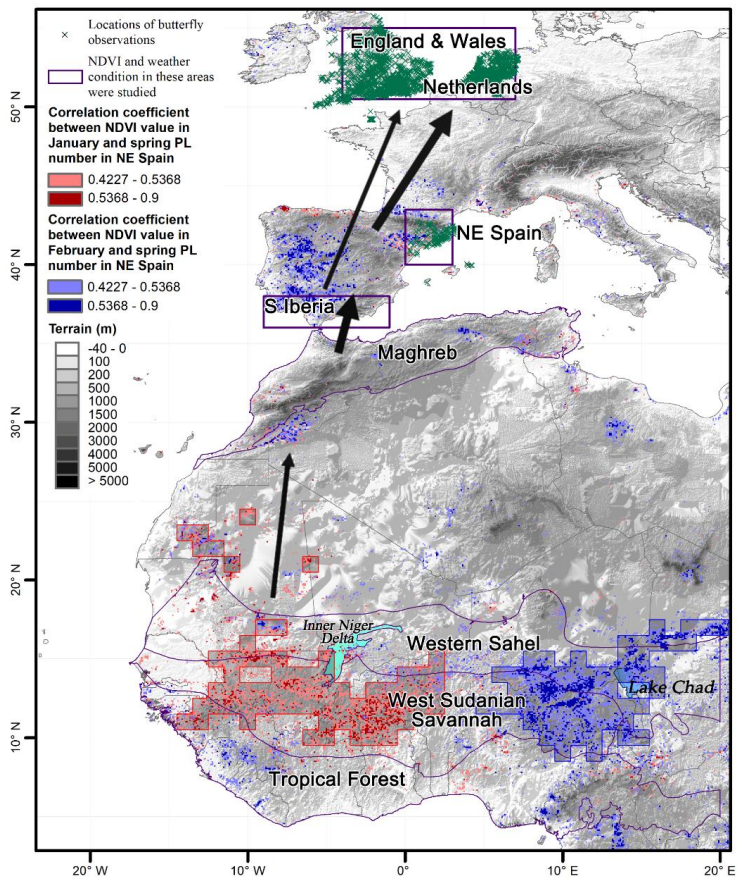


Annu. Rev. Entomol. (2025)

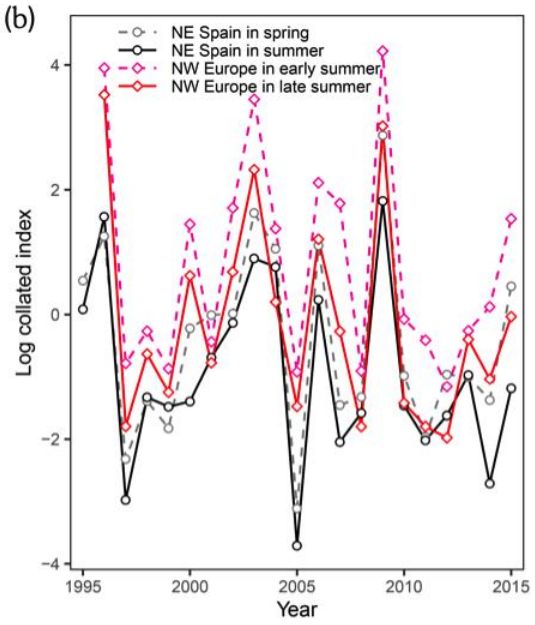
Q1：什么是迁飞?

种群数量动态大起大落，极易暴发成灾

小红蛱蝶北非-欧洲迁飞路线













问题 2

昆虫为什么迁飞?

进化驱动因素，成本&收益

Desert Locust, Pakistan, 2020 (TU Xing-Bing, CAAS)

应对季节性变化：严寒酷暑



Q2：昆虫为什么迁飞?

应对季节性变化

滞育



Hibernating Large White butterfly chrysalis

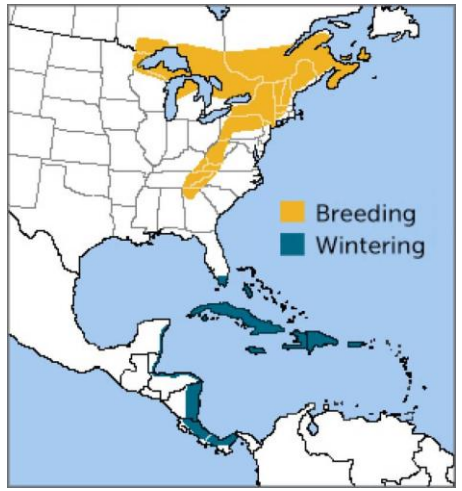
迁飞



Migrating Monarch butterflies

昆虫迁飞的成本大?

- 迁飞行为非常**耗能**，极可能导致：
  - 繁殖投入资源减少?
  - 迁飞导致更高的死亡率?
    - 北美黑喉蓝莺：夏季繁殖区New Hampshire 、冬季越冬区Jamaica的月存活率~100%
    - 迁飞季月存活率~75%-80%
    - 迁飞季月死亡率是繁殖/越冬季的15倍，85% 的个体死亡发生在春季或秋季迁飞期





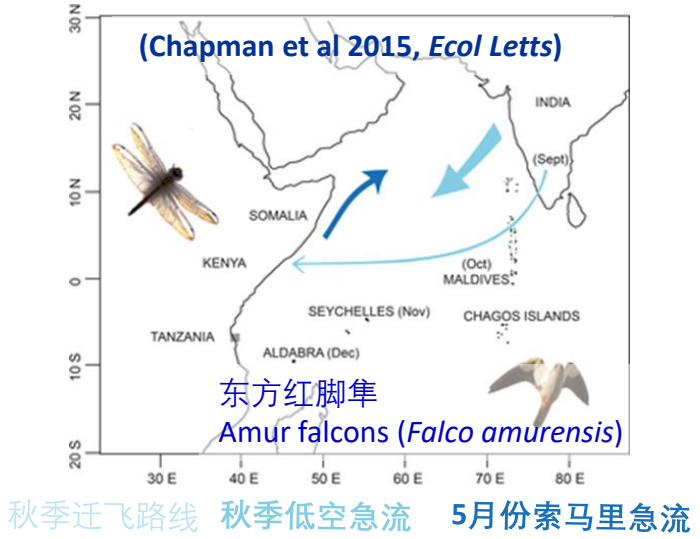
Sillett et al 2002, *J Anim Ecol*

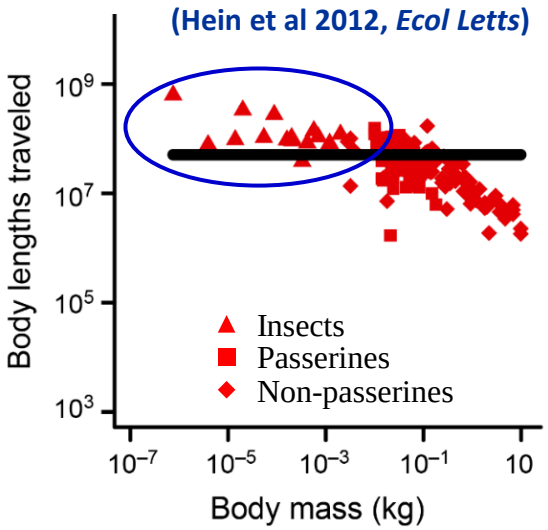
但迁飞昆虫呢?

昆虫迁飞非常消耗能量吗?

- **昆虫是非常高效的长距离迁飞者**
- **风载迁飞**：通常发生在数百米的高空
  - 小红蛱蝶和黄蜻单次迁飞可达 3500-4000 km
- 按身体比例，昆虫是所有动物中迁移距离最长的动物







Cost A: 迁飞导致繁殖率下降?

- 迁飞消耗大量能量，导致生殖适合度降低吗?
  - 相较于非迁飞昆虫种类，迁飞昆虫可能具有更高的繁殖力
    - 迁飞蛾类雌虫产卵量1000-2000粒，为非迁飞昆虫产卵量的5倍 (Spitzer 1984, *Oecologia*)
  - 同种昆虫迁飞个体的繁殖力未必低于居留个体
    - 稻纵卷叶螟、草地螟、草地贪夜蛾迁飞雌虫具有更高的产卵量
  - 翅二型昆虫长翅型雌成虫的产卵量通常少于短翅型个体

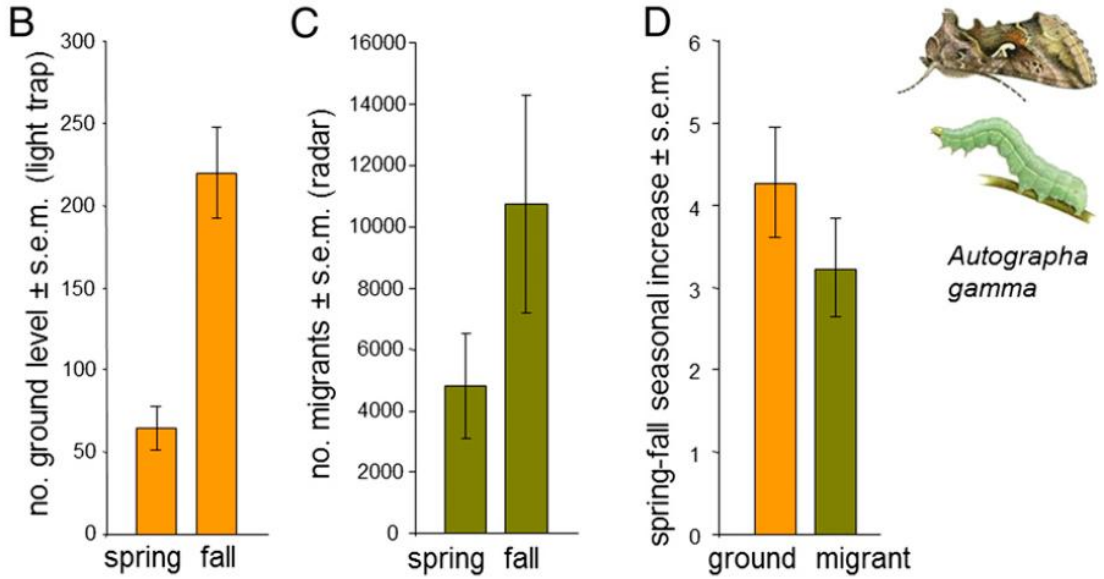
不同种群性质稻纵卷叶螟雌蛾的生殖力 (杨帆等, 2013)

种群性质	产卵前期	产卵历期	单雌产卵量	交配次数
迁入代	-	**7.77±1.31 a**	**400.50±70.07 a**	**2.59±0.59 a**
本地繁殖代	4.13±1.30 a	8.20±2.08 a	339.47±115.36 b	1.38±0.65 b
迁出代（被迫居留）	**7.59±1.28 b**	**5.71±1.65 b**	**84.76±59.74 c**	**0.47±0.51 c**

季节性北迁带来巨大的生殖收益

英国丫形银纹夜蛾种群的季节性增长

	春季北迁	秋季回迁	增长倍数
暴发年 (n=3)	233 ± 5 x 10^6 (34–36 t)	445 ± 130 x 10^6 (47–86 t)	1.9 ± 0.6
正常年 (n=7)	26 ± 4 x 10^6 (3–5 t)	90 ± 16 x 10^6 (11–16 t)	3.8 ± 0.7
所有年 (n=10)	88 ± 32 x 10^6 (8–18 t)	197 ± 65 x 10^6 (20–39 t)	3.2 ± 0.6



昆虫由多个世代来完成迁飞，迁飞过程中连续繁殖

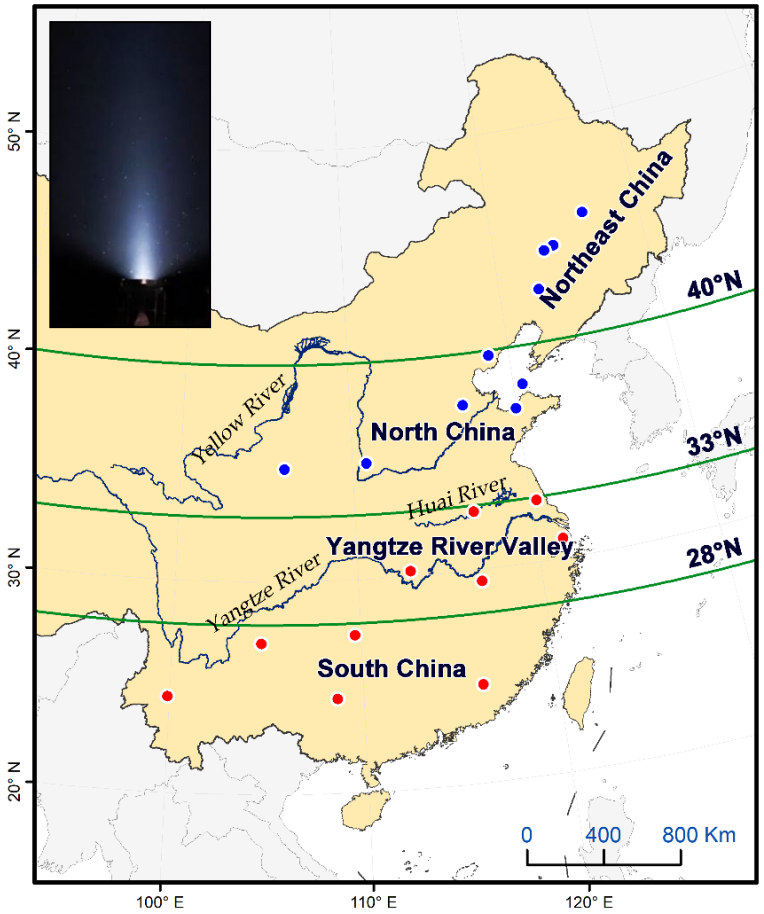
迁飞跟随“绿浪”、逃避寄生或病原微生物等天敌

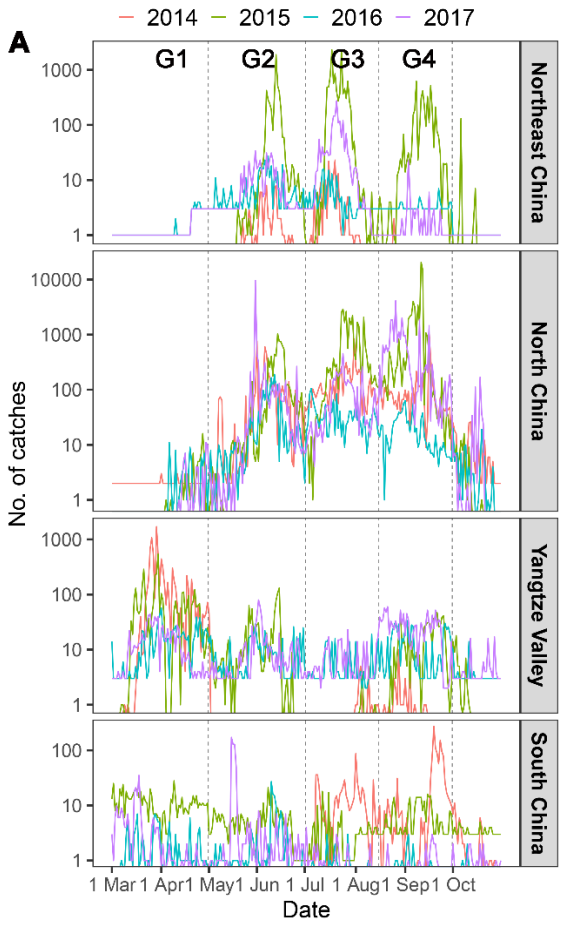
Chapman et al 2012, *PNAS*

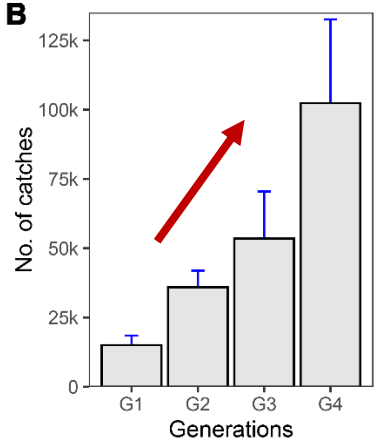
Q2：昆虫为什么迁飞?

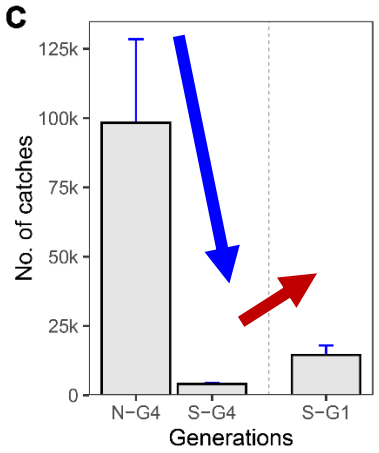
季节性北迁带来巨大的生殖收益











北迁种群快速增长

平均增长6.81倍

最高23.22倍

回迁南方灯诱蛾量极少

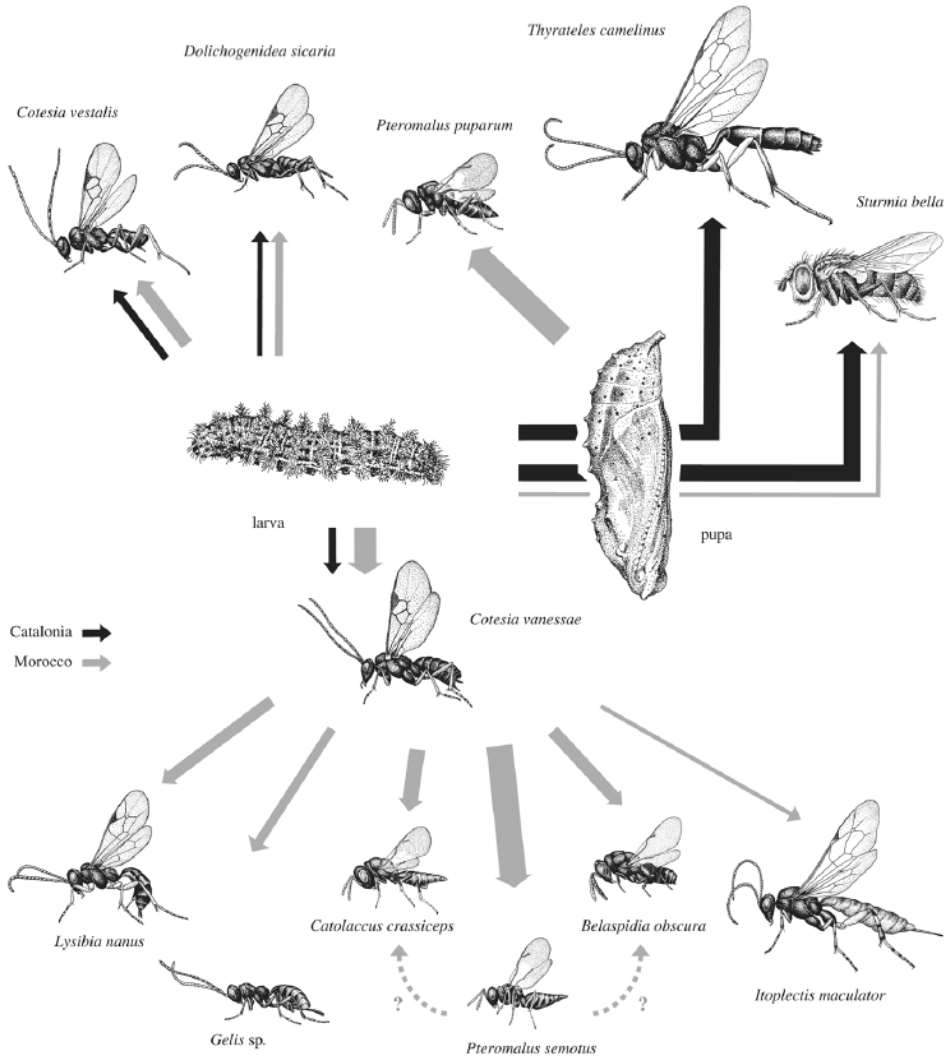
仅占北方站点的4%

南方春季种群回升

Movement Ecology (2022)

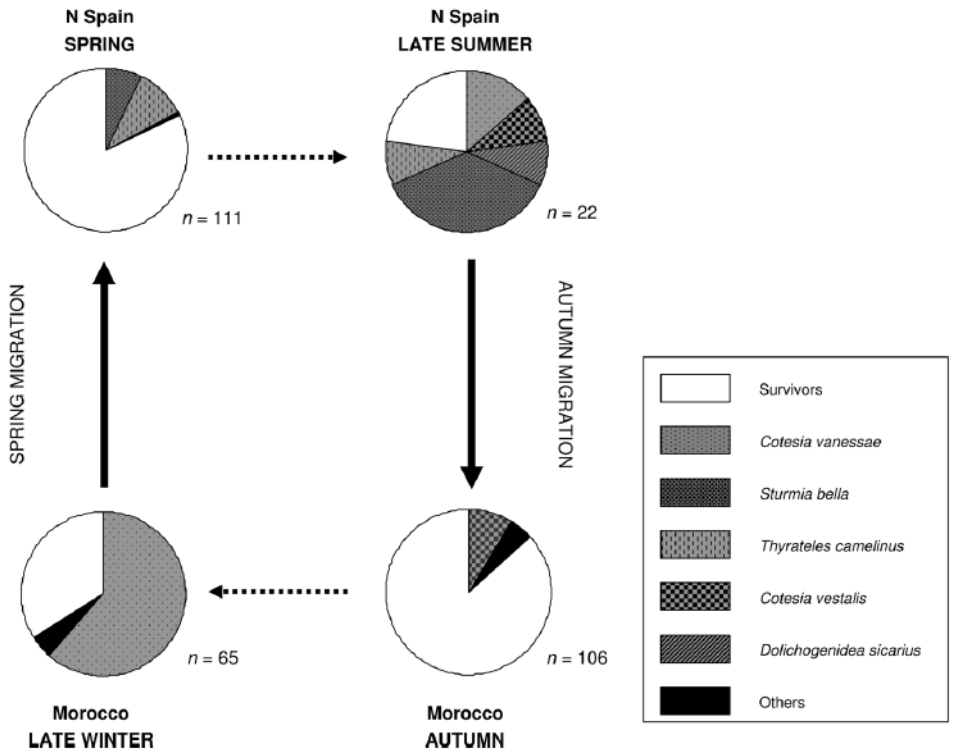
Q2：昆虫为什么迁飞?

迁飞逃避天敌









Stefanescu et al (2012) *Eur J Entomol*

问题 3

昆虫如何实现成功迁飞

风载迁飞&定向导航

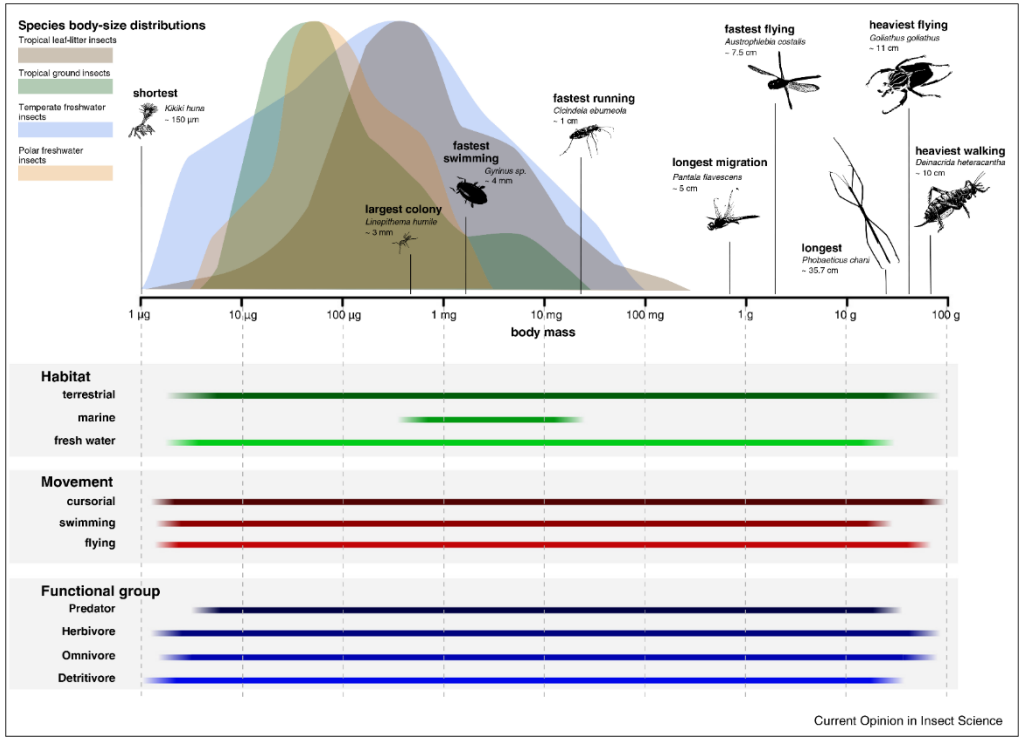


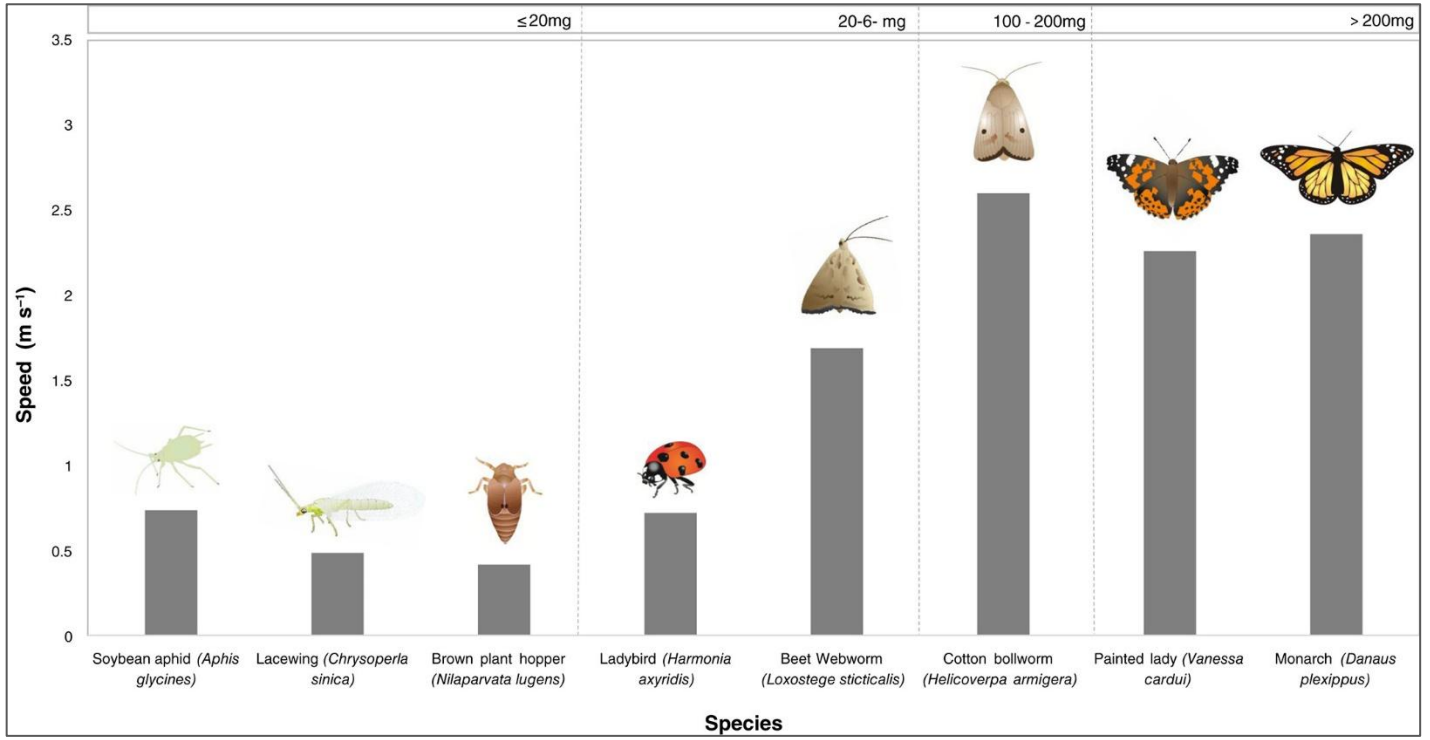
Mass arrival of Vagrant Emperor dragonflies (*Anax ephippiger*) on NE coast of Cyprus

Hawkes et al 2022, *Ecography*

Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

昆虫个体小，飞行能力非常有限



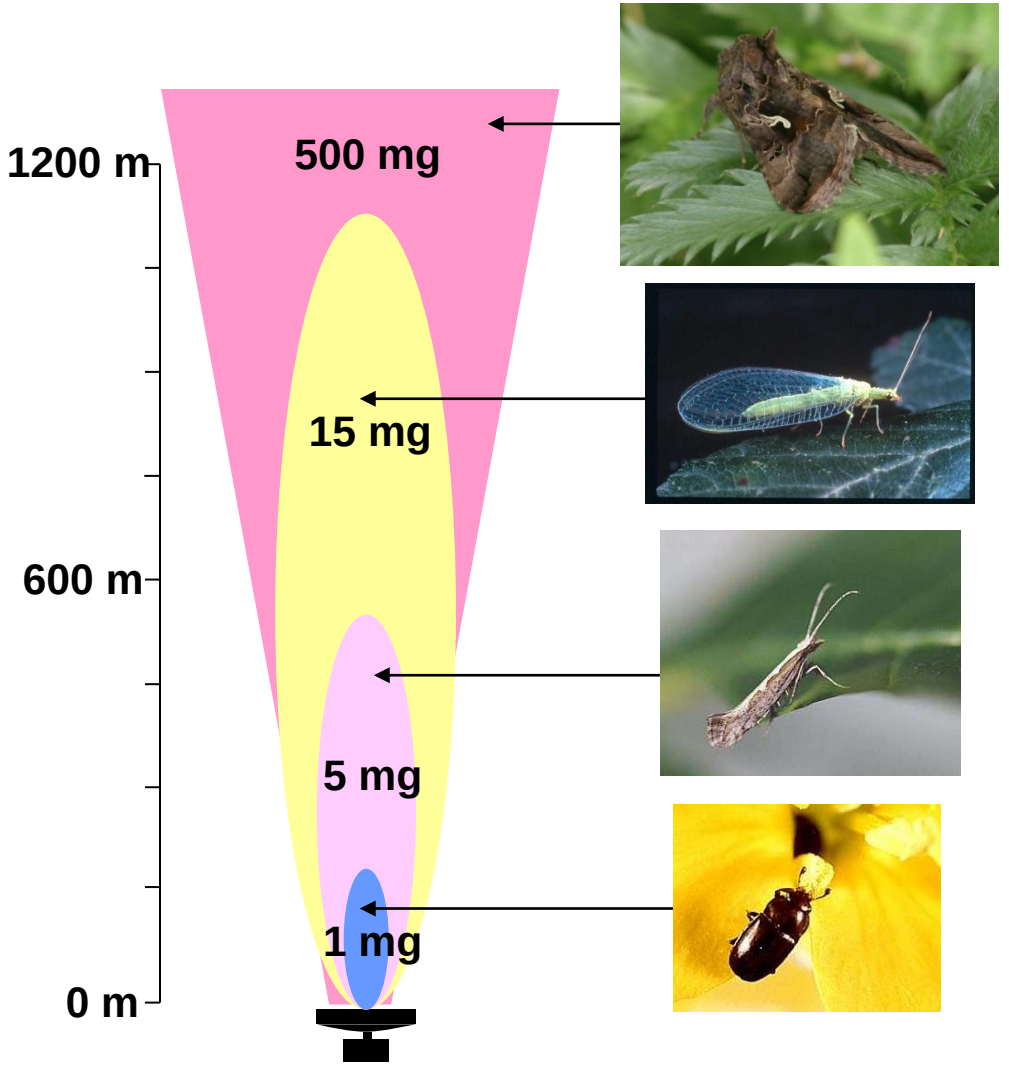


昆虫垂直雷达 Vertical-looking Radar (VLR)

观测范围:
150 – 1200 m (英)
/ 150 – 2000 m (中)

参数:
飞行速度 & 方向
头向、振翅频率
体重、体形





Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

全国昆虫雷达监测网



审图号: GS京(2025)1784号

已接入农业农村部
全国农作物重大病虫害数字化监测预警系统

从研究工具变身迁飞害虫监测利器

实现了迁飞全过程监测、可提前3-5天预警



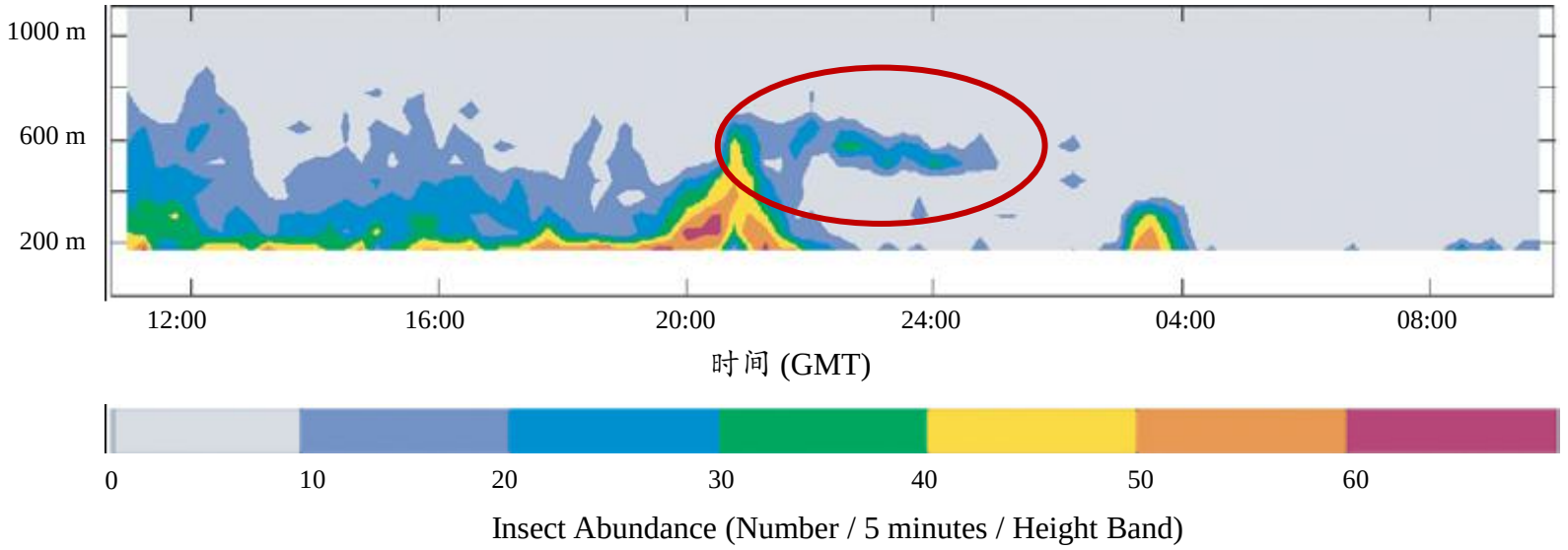
12台雷达已联网运行，目前全球最大规模

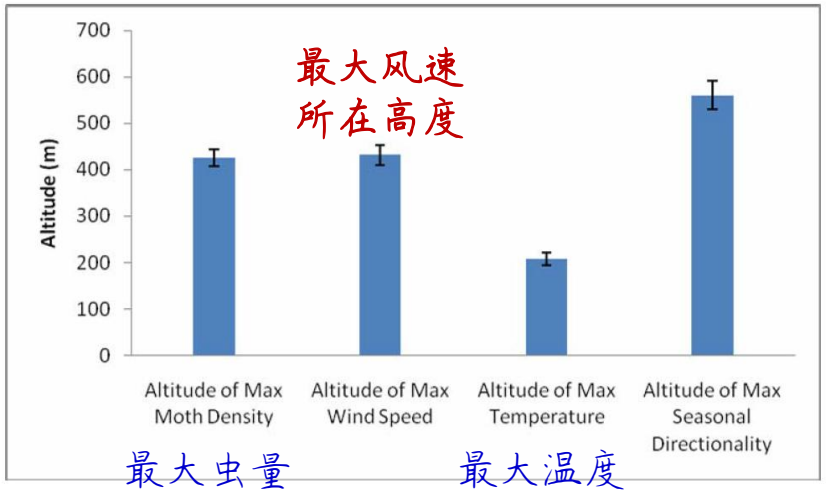
海外昆虫雷达网仅 2 台联网，用于研究

南京农业大学、中国农科院植保所、河南省农科院、吉林省农科院、信阳市农科院、漯河市农科院、北京市植保站、四川省植保站等单位联合

迁飞蛾类对气流的选择 – 速度





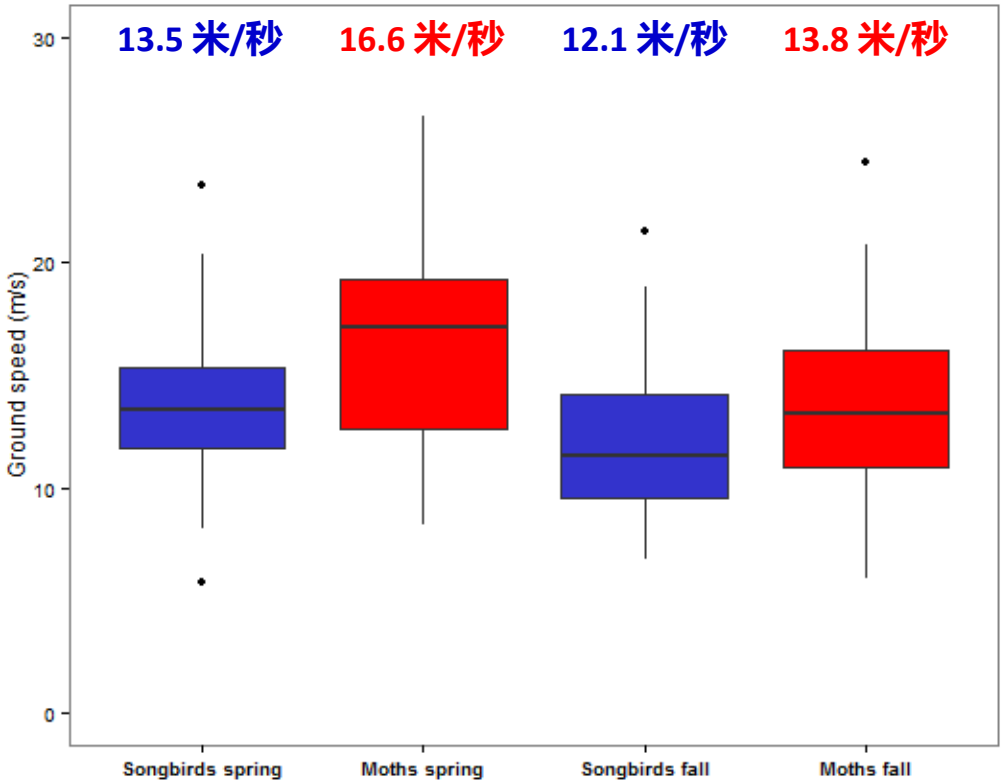


Chapman et al (2010) *Science*

迁飞蛾类对气流的选择 – 速度



丫形银纹夜蛾
~4 米/秒





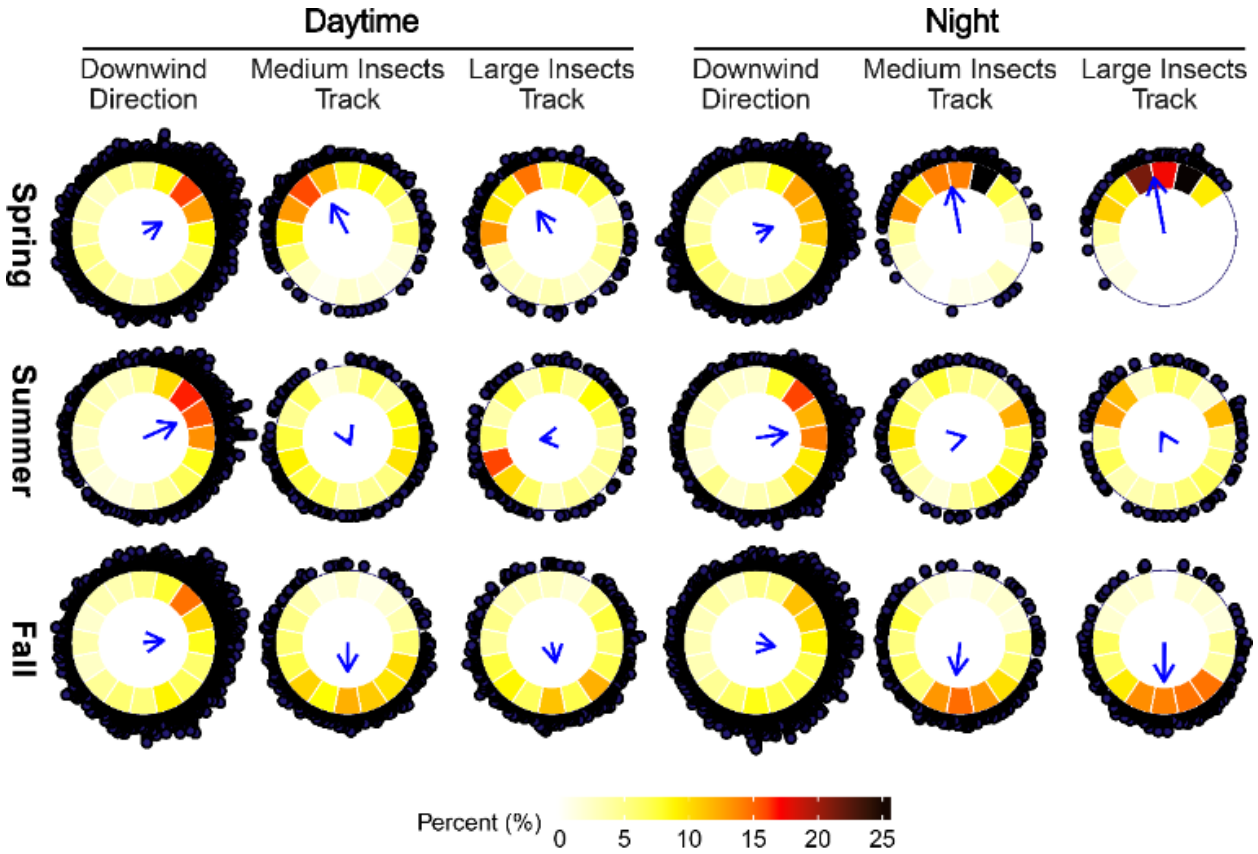
雀鸟
~10-15 米/秒

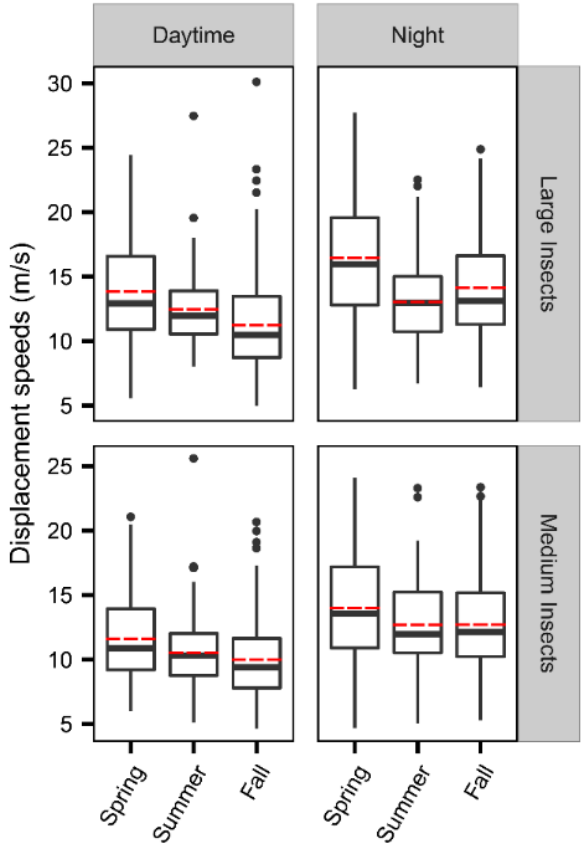
10米/秒 = 36公里/小时
15米/秒 = 54公里/小时

在天上为什么昆虫比鸟还快呢?

Chapman et al (2016) *J Anim Ecol*

迁飞蛾类对气流的选择 – 迁飞方向





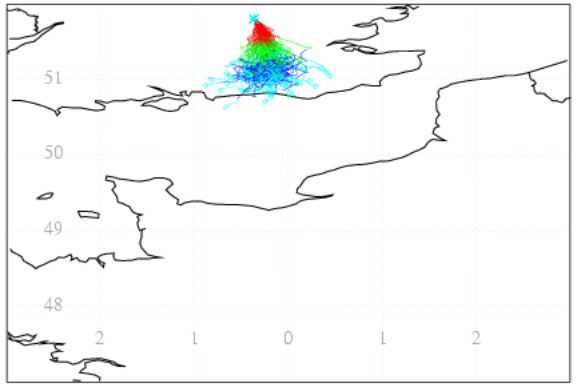
10 -16 m/s

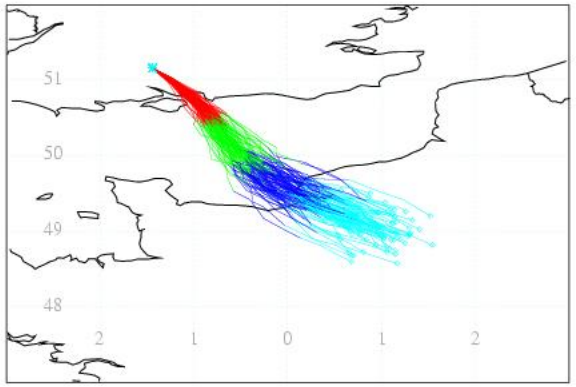
Hu et al (2016) *Science*

Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

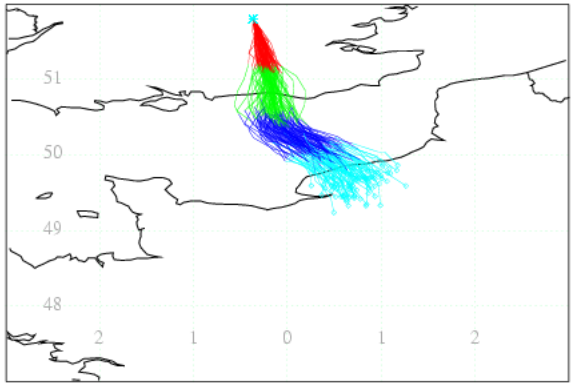
气流选择等空中行为显著影响迁飞轨迹

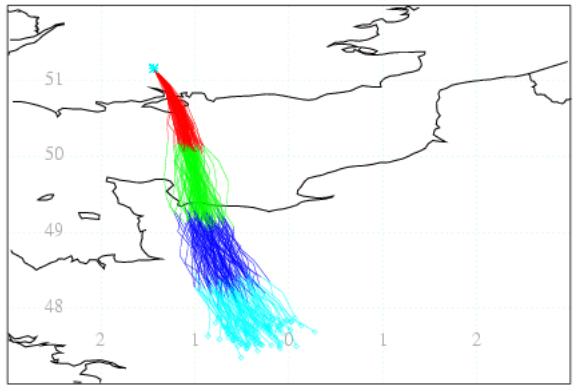
Inert Particles





‘Virtual’ Moths

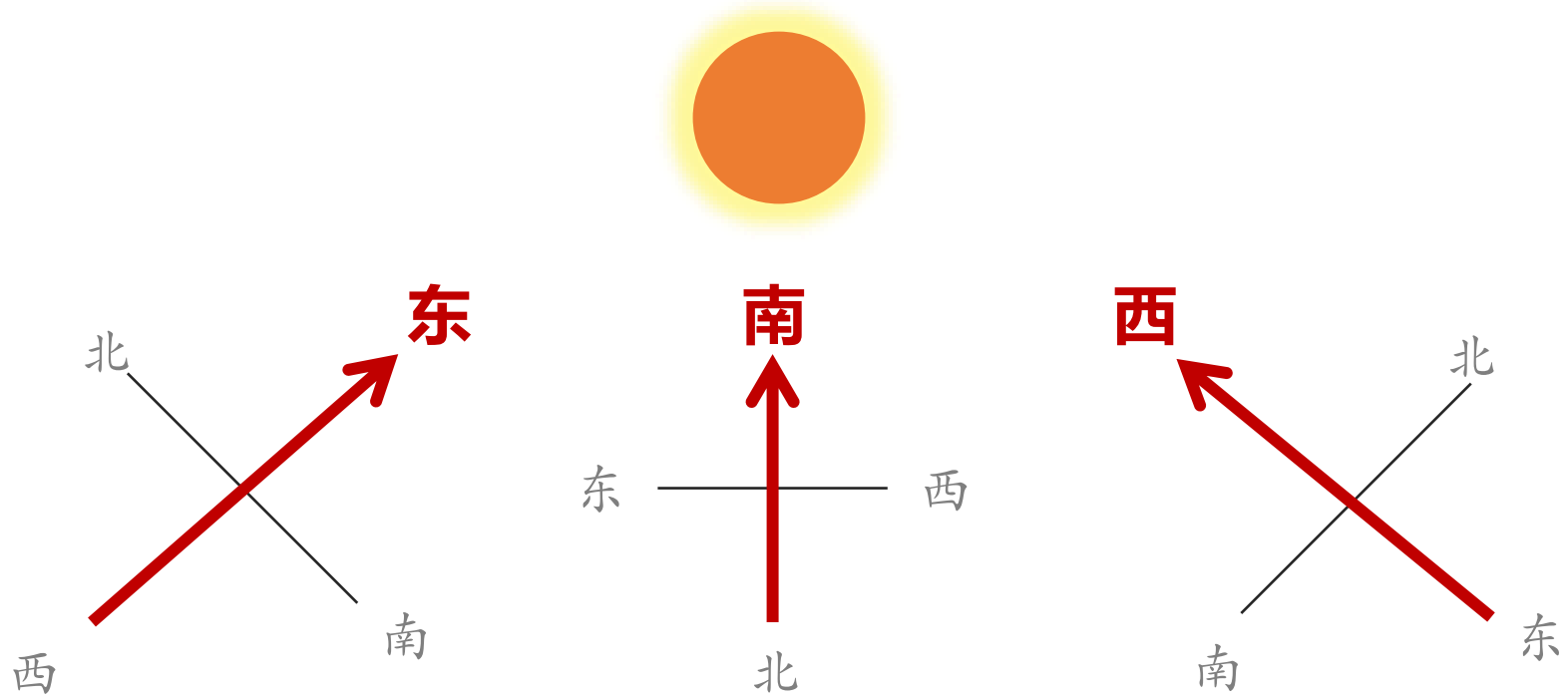




Chapman et al (2010) *Science*

Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

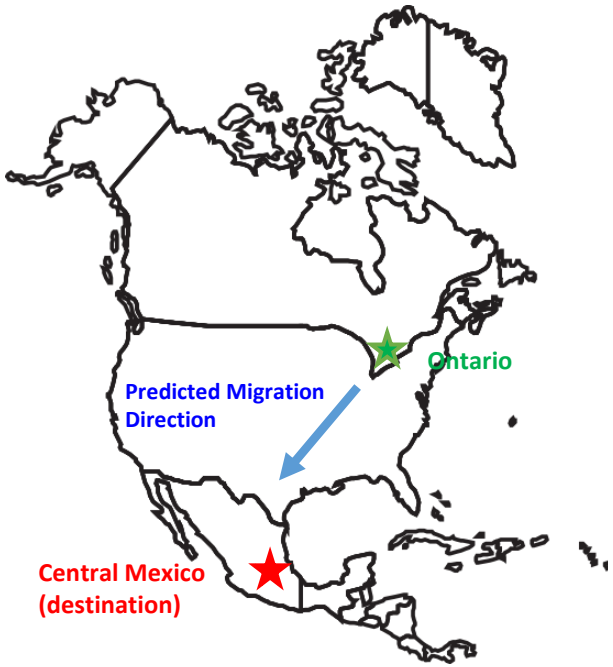
太阳罗盘



清晨　　中午　　傍晚

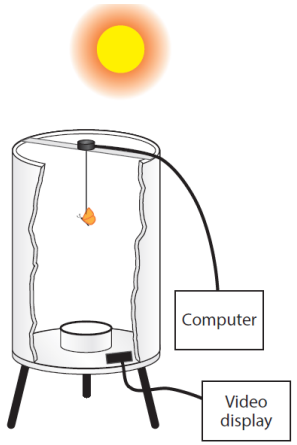
我们可以根据时间和太阳方位来确定方向

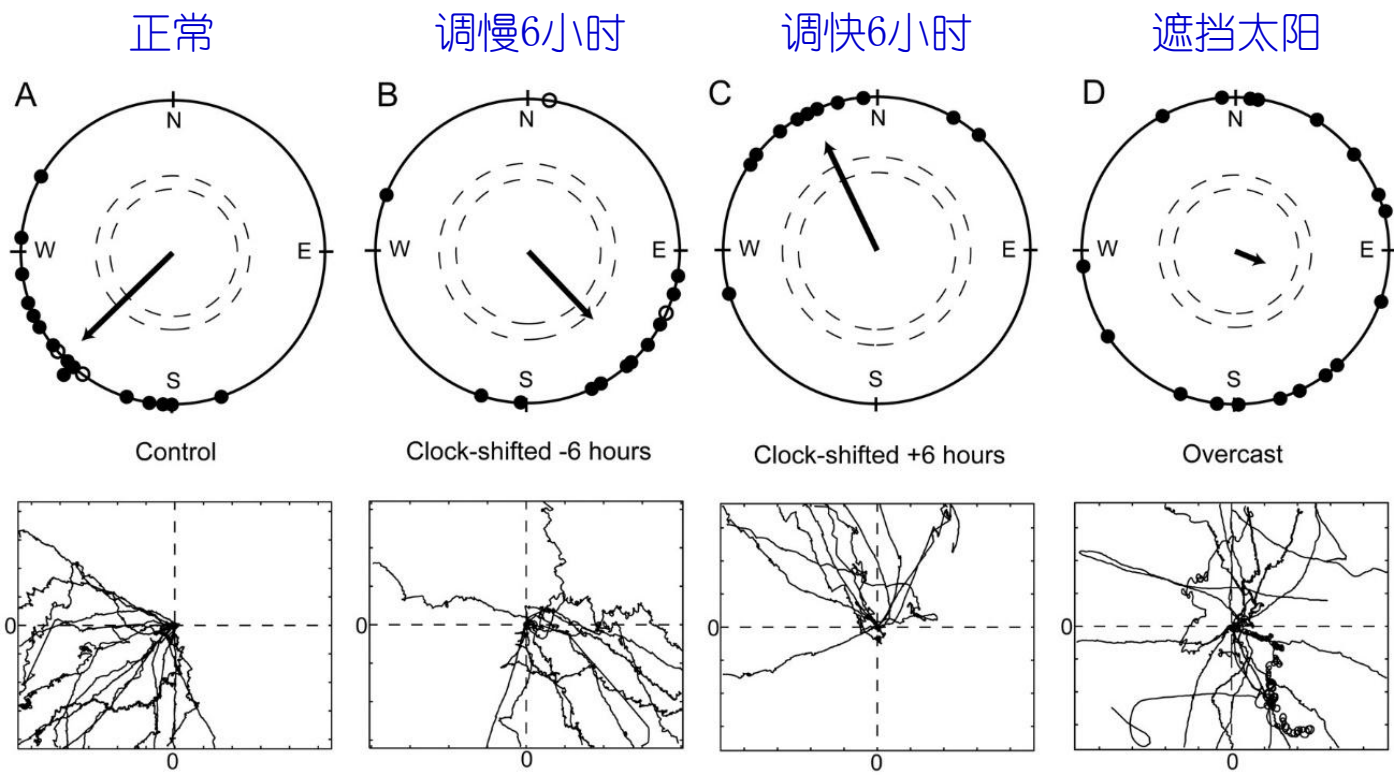
帝王蝶采用时间补偿的太阳罗盘定向







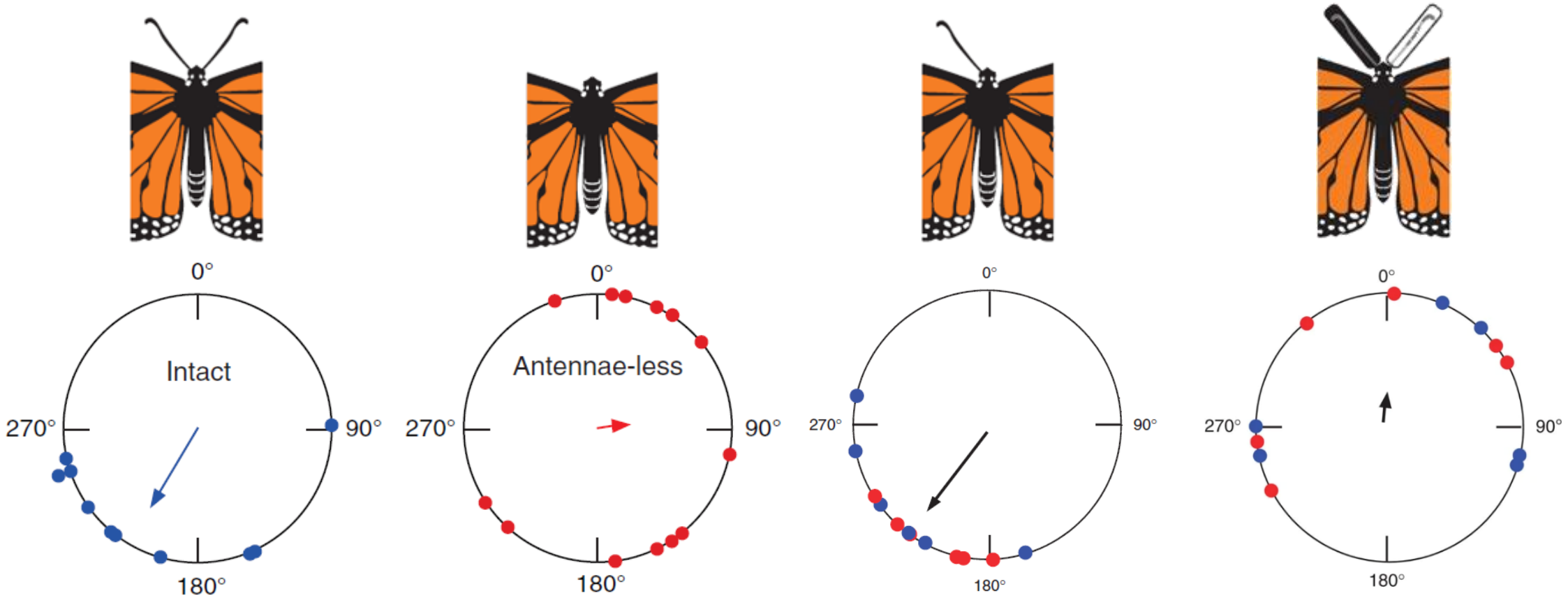




帝王蝶基于时间补偿的太阳罗盘实现定向

Mouritsen & Frost (2002) *PNAS*

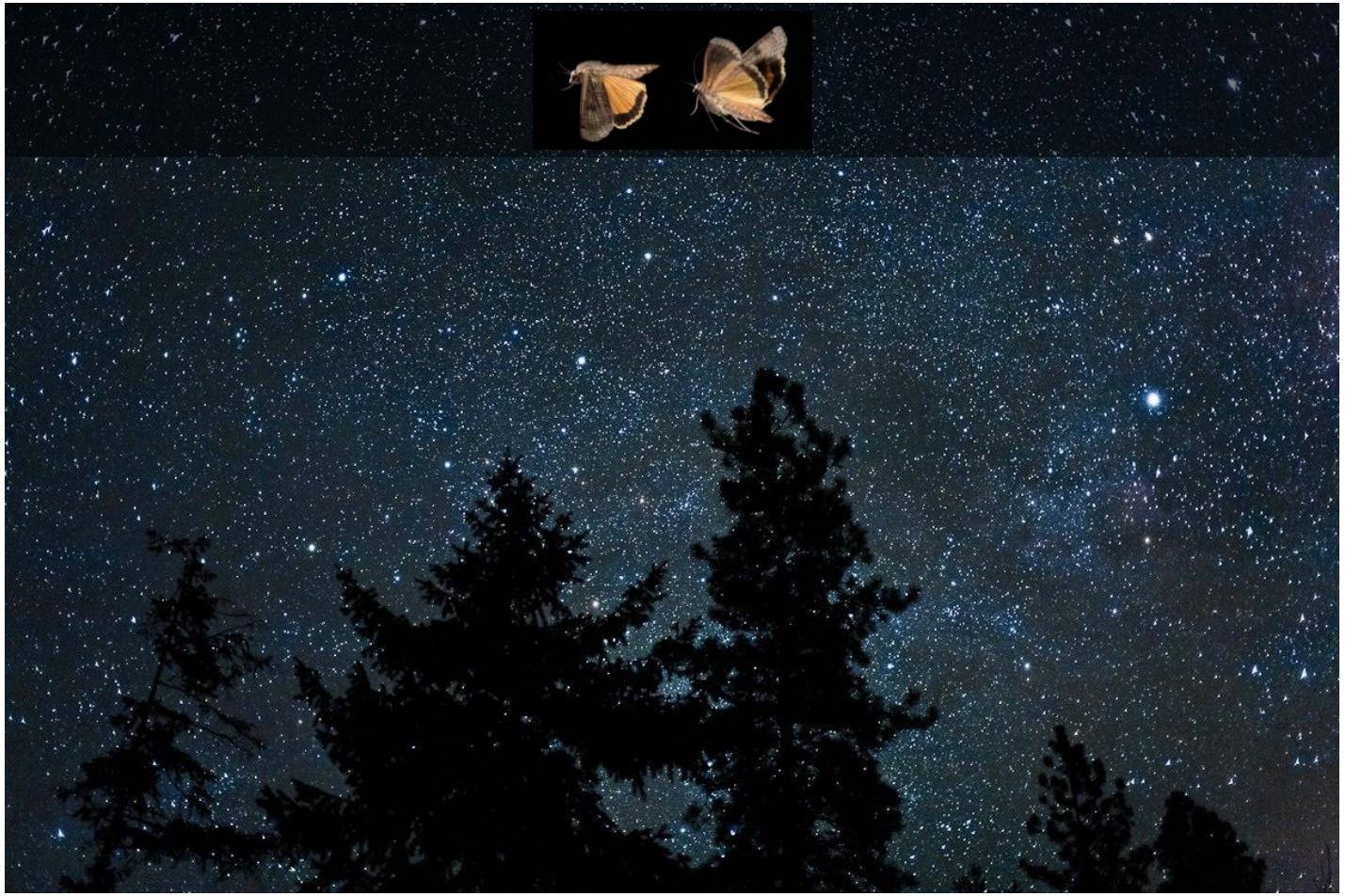
帝王蝶通过触角感知太阳罗盘信号

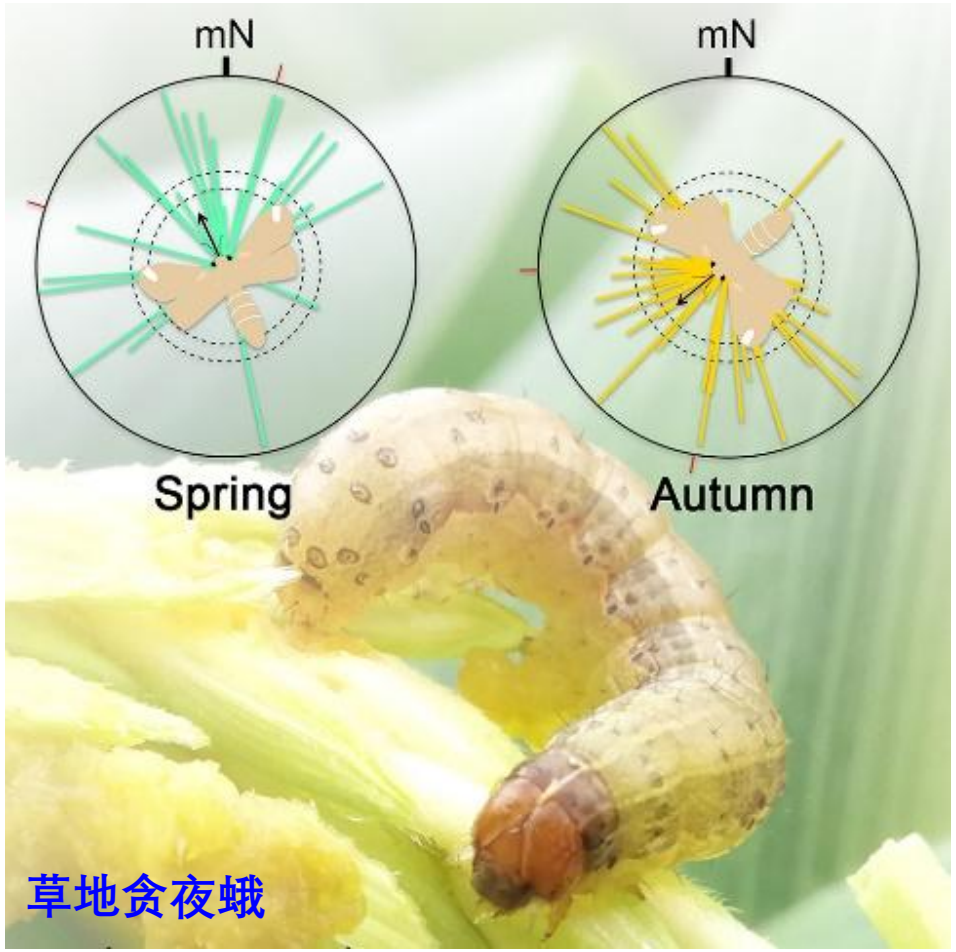


Merlin *et al*. 2009, *Science*; Guerra *et al.* 2012, *Nature Communications*

Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

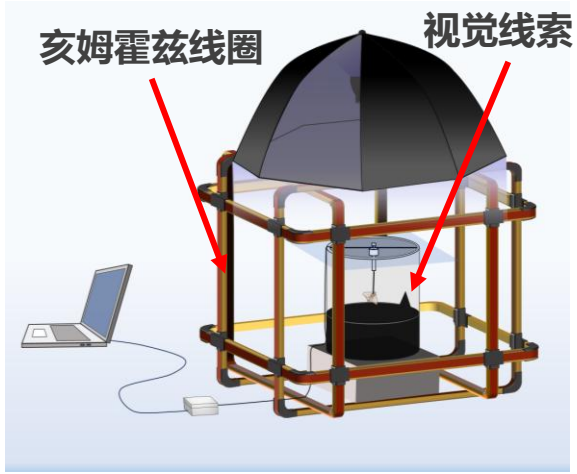
夜间迁飞昆虫如何定向?

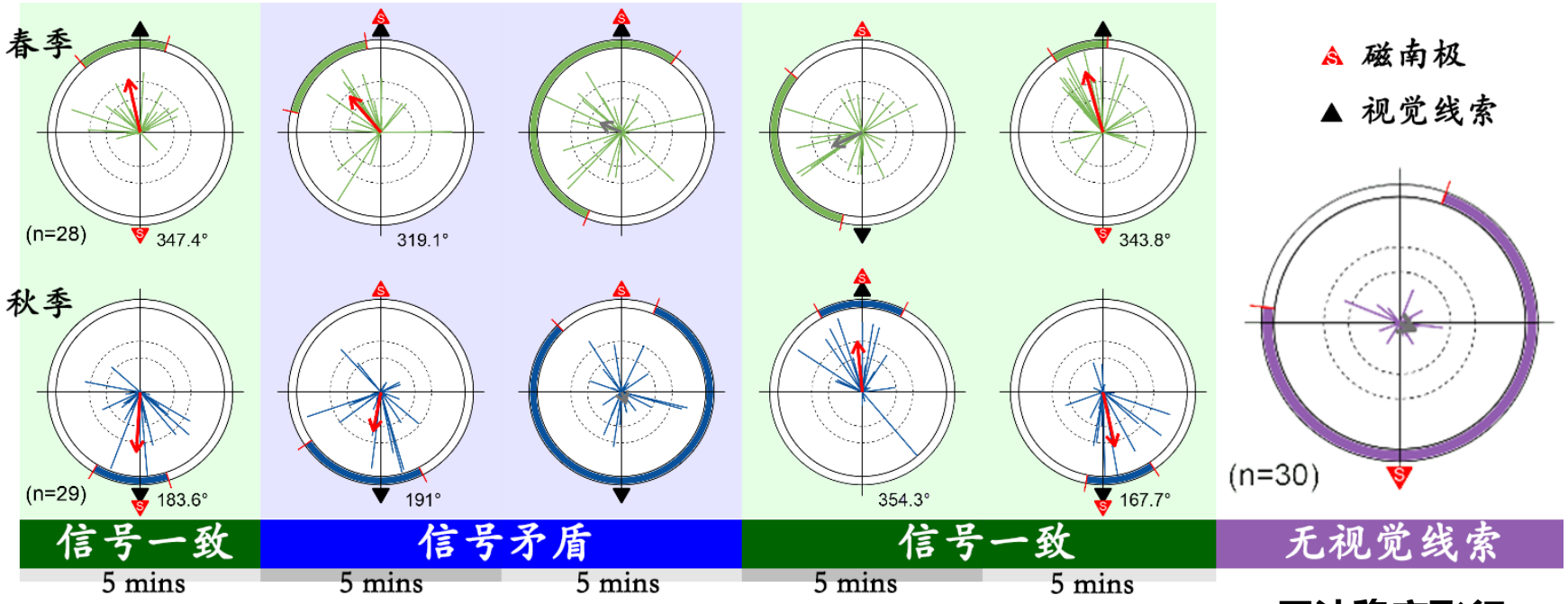




Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

夜间蛾类整合地磁与视觉线索实现定向





定向 **先朝视觉线索定向，失去定向** **定向** **无法稳定飞行 失去定向**

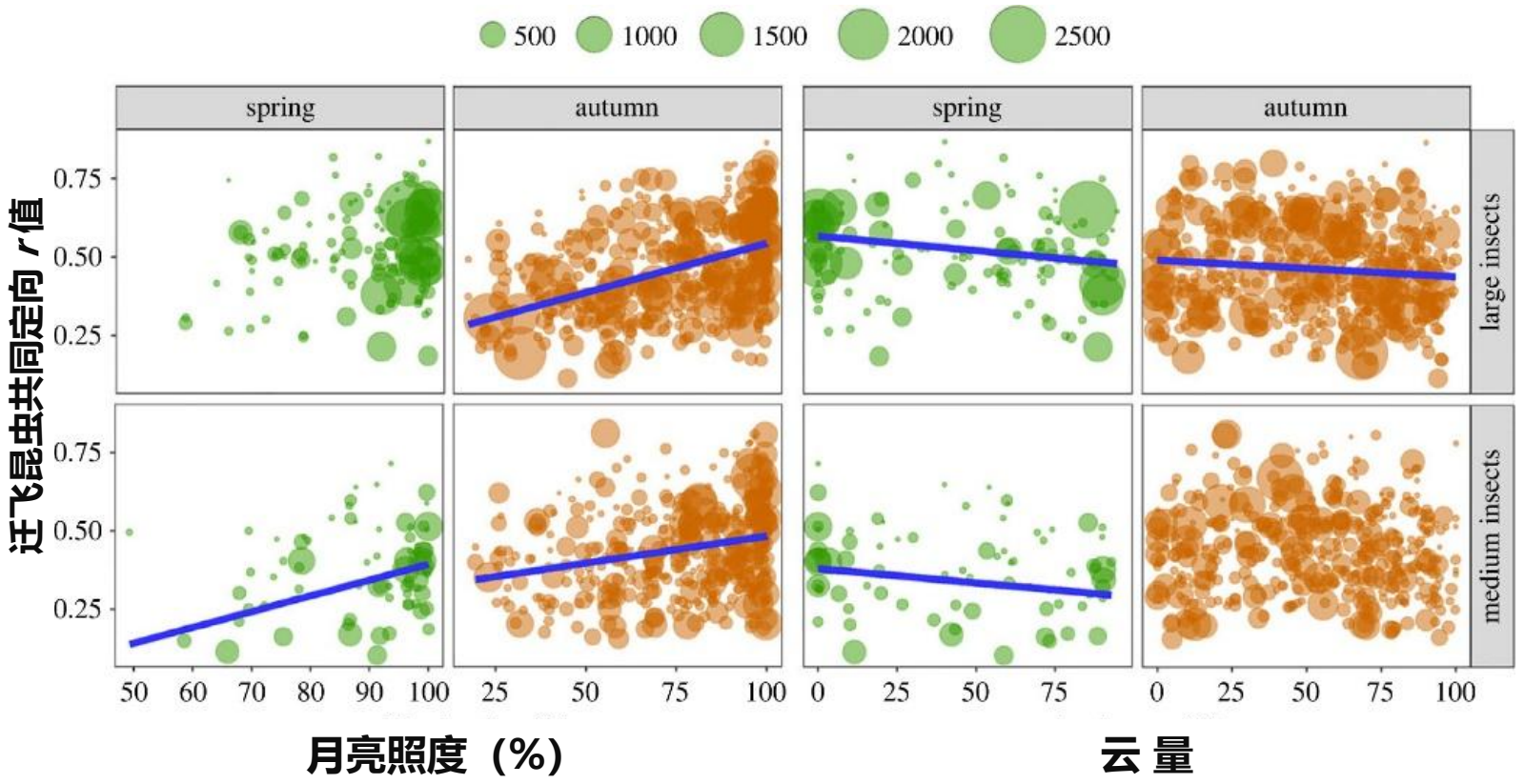
iScience (2023); *Philosophical Transactions of the Royal Society B* (2024); *eLife* (2025)

Q3：昆虫如何实现成功迁飞?

夜间蛾类整合地磁与视觉线索实现定向



高博雅





月光和云量显著影响夜间迁飞昆虫的定向行为表现

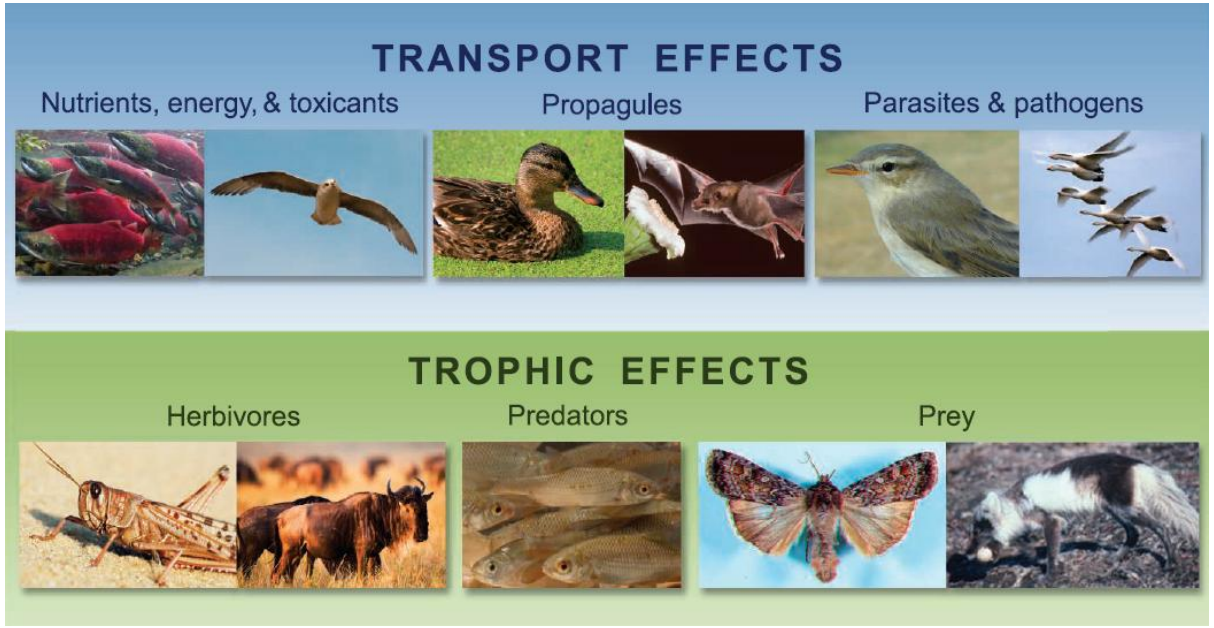
Philosophical Transactions of the Royal Society B (2024)

问题 4

昆虫迁飞的生态功能及影响



昆虫迁飞的生态效益



Migratory animals often move long distances in very large numbers, and so they can provide links between distant ecosystems. By transporting energy, nutrients, and other organisms, as well as foraging on and/or becoming prey to other species, these migrants can profoundly alter the dynamics of the resident communities they connect during their journeys. These impacts can be characterised as transport or trophic effects.

Bauer & Hoye (2014) Science

Q4：昆虫迁飞的生态功能及影响

昆虫迁飞是规模最大的动物迁徙



欧洲西部



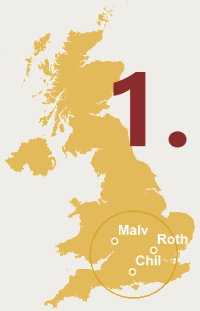
3000万

415吨



2.2倍

欧洲西部



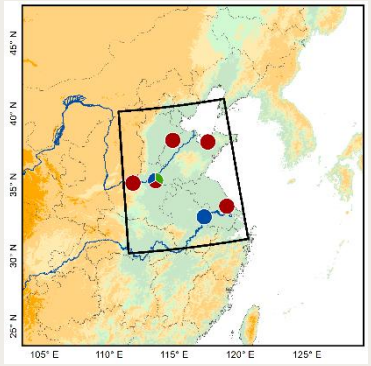
1.1万亿

900吨



16.2 倍

我国东部



9.3万亿

146,00吨





76.2%

为鳞翅目害虫

取食量超7300万吨

揭示昆虫迁飞是规模最大的动物迁徙，我国规模显著大于其他区域

重要生态影响：农业害虫、病原媒介、物质能量流动、生态功能

Science (2016); *Current Biology* (2019); *PNAS* (2024)

Q4：昆虫迁飞的生态功能及影响

昆虫迁飞是规模最大的动物迁徙

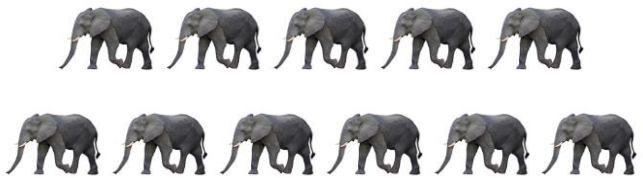
迁飞食蚜蝇具有重要生态功能：害虫控制、花粉传播


黑带食蚜蝇


大灰食蚜蝇

全年英国南部 **22.6** 亿

生物量 55.5 吨





消灭蚜虫：**6.3** 万亿

生物量约 6300 吨

1260 大象

每公顷农田约100万头蚜虫被捕食

冬小麦蚜虫初始种群约每公顷 500 万头

初代迁入食蚜蝇可捕食量 20%

（幼虫需捕食约400头蚜虫才能羽化为成虫）



春季北迁携 **30-80** 亿花粉颗粒

夏秋南迁携 **30-190** 亿花粉颗粒

英国约 49.4 亿头工蜂访花传粉

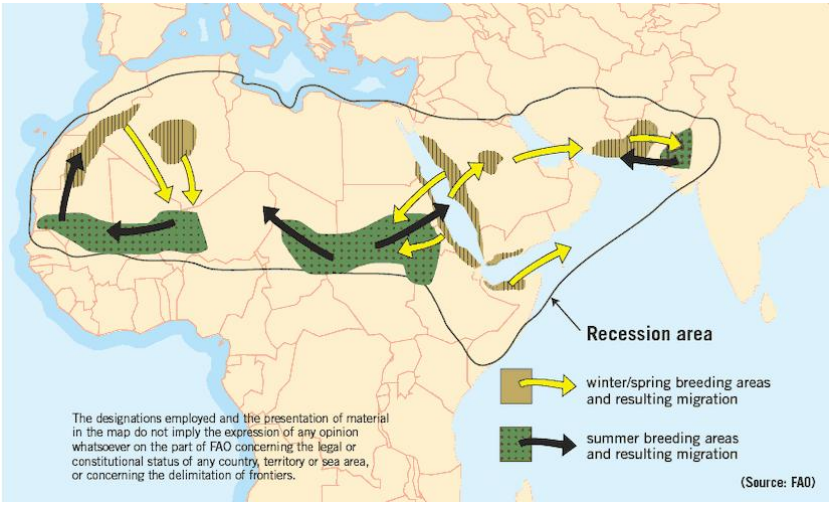
Current Biology (2019)

大多数暴发性害虫都具有远距离迁飞能力



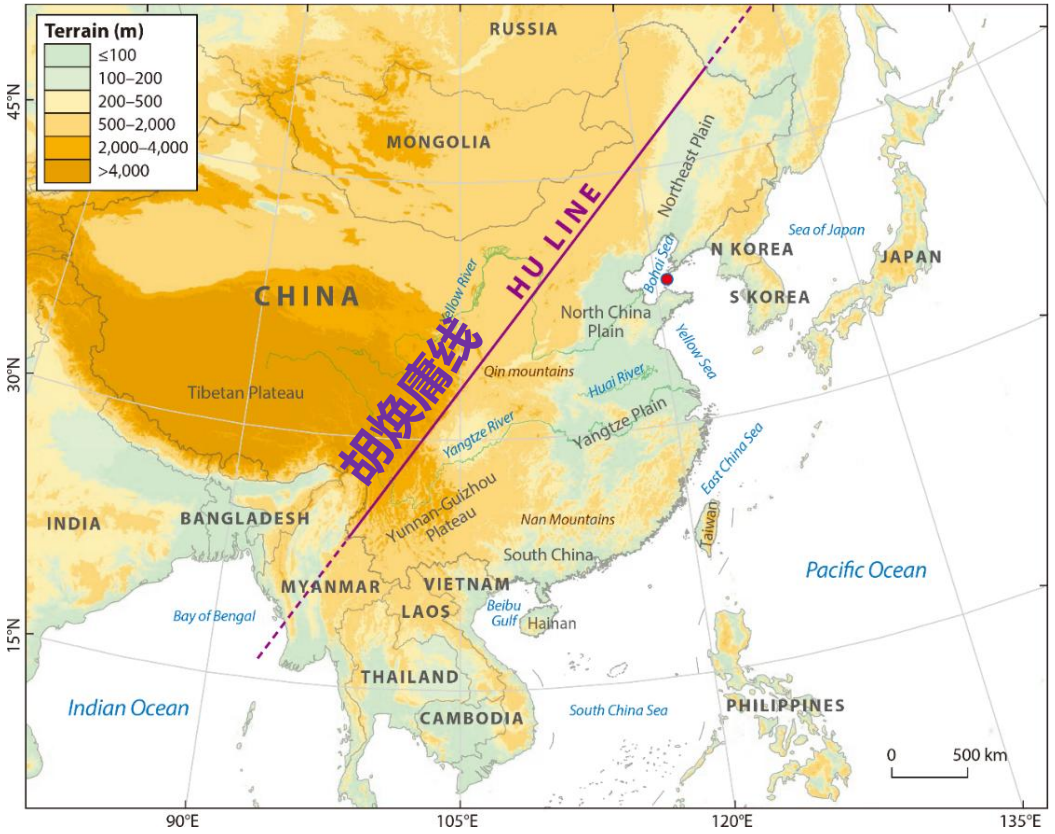
农业害虫 & 携病媒介害虫

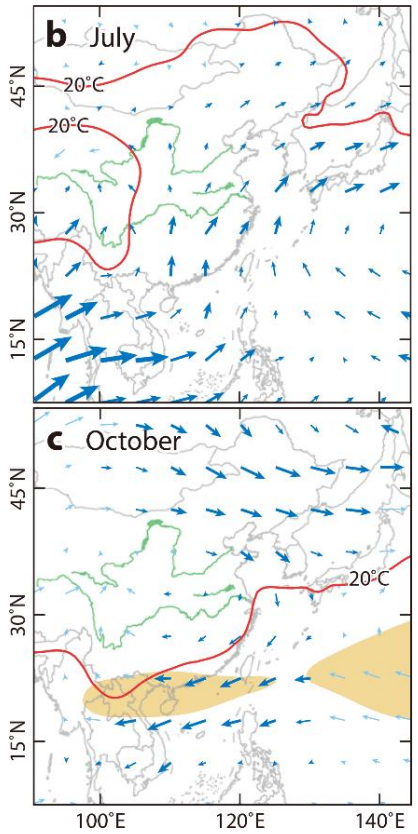
- 直翅目 (蝗虫)
- 半翅目 (蚜虫、飞虱)
- 鳞翅目 (粘虫, 小地老虎、棉铃虫等)
- 双翅目 (蚊子)
- 鞘翅目 (稻水象甲)

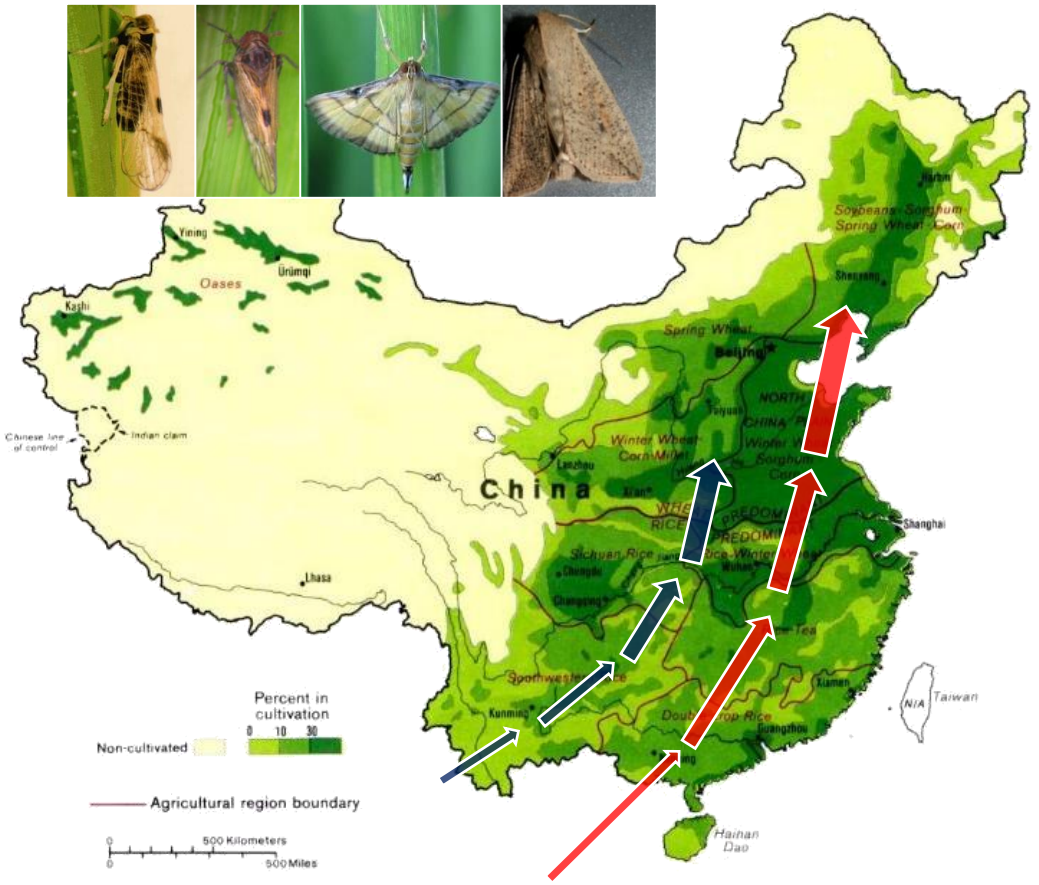


Q4：昆虫迁飞的生态功能及影响

得天独厚的地理环境造就了东亚迁飞场







亚洲东部地势平坦

东亚季风区

主要农业区

Annu. Rev. Entomol. (2025)

迁飞虫害严重威胁我国“口粮”安全

► **7 种暴发性一类害虫是迁飞性害虫**（共10种一类害虫，名录由农业农村部制定）

- 主要为害水稻、小麦、玉米三大粮食作物
- 年均发生面积近10亿亩，可造成损失2241万吨，占所有病虫害的30%以上
- 大发生时可造成损失占所有病虫害的60%以上



虱烧造成绝产绝收



稻飞虱虫雨

我国常年发生面积

3 亿亩次以上

可造成产量损失

878 万吨

相当1.2亿人一年的口粮

8种迁飞性一类害虫：草地贪夜蛾、稻飞虱、稻纵卷叶螟、粘虫、飞蝗、草地螟、麦蚜、**玉米螟（2023年新增）**

Q4：昆虫迁飞的生态功能及影响

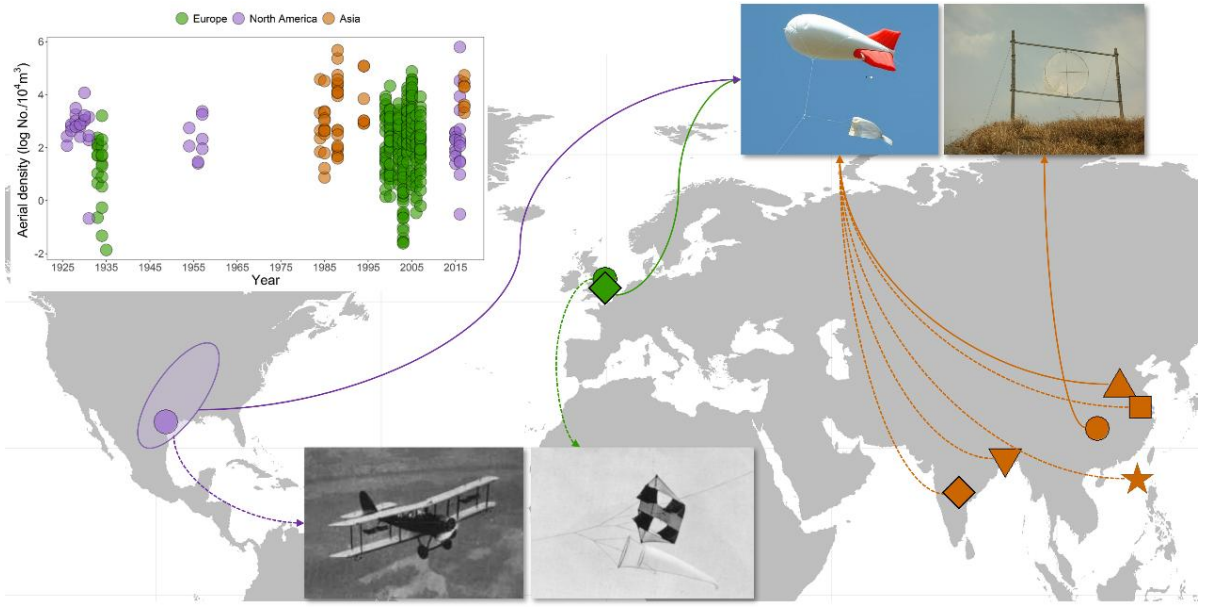
气候变化下空中迁飞虫群数量稳定



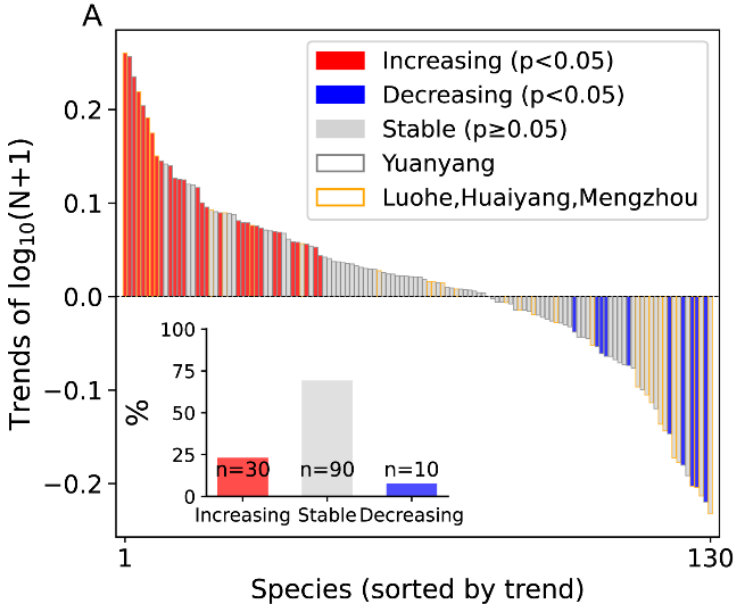
封洪强







1926-2017年全球空中采样数据



2013-2024年河南高空灯监测数据

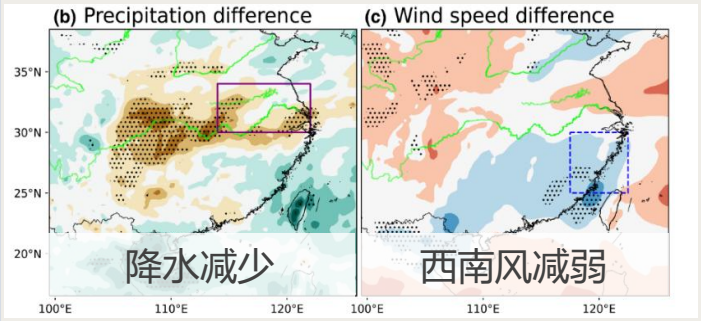
Insect Science (2025); Song XX et al. (in prep.)

Q4：昆虫迁飞的生态功能及影响

气候变化重塑迁飞格局

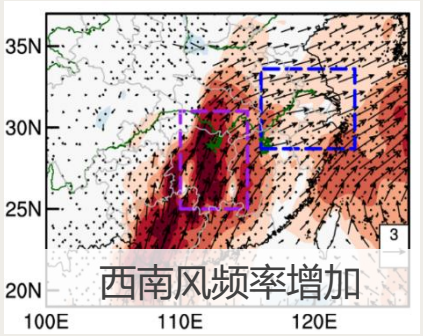
不利于春夏季北迁

长江下游迁入量下降

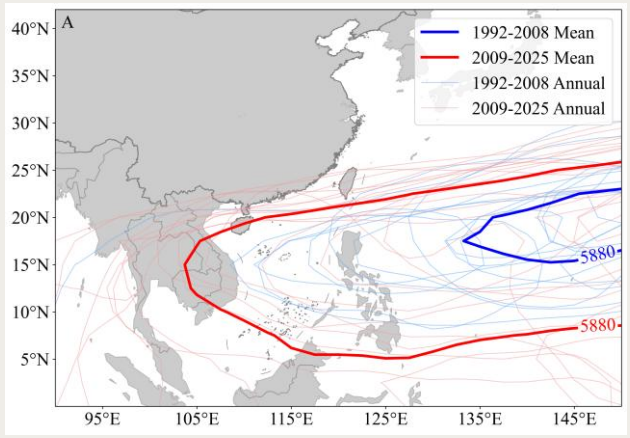


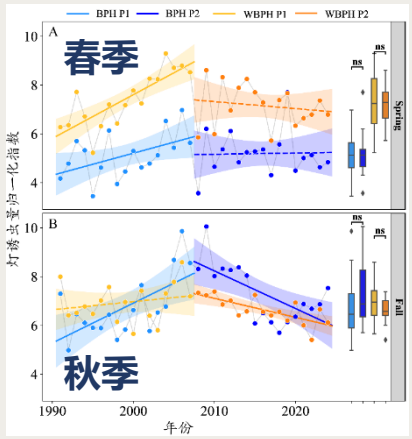
秋季无法顺利回迁

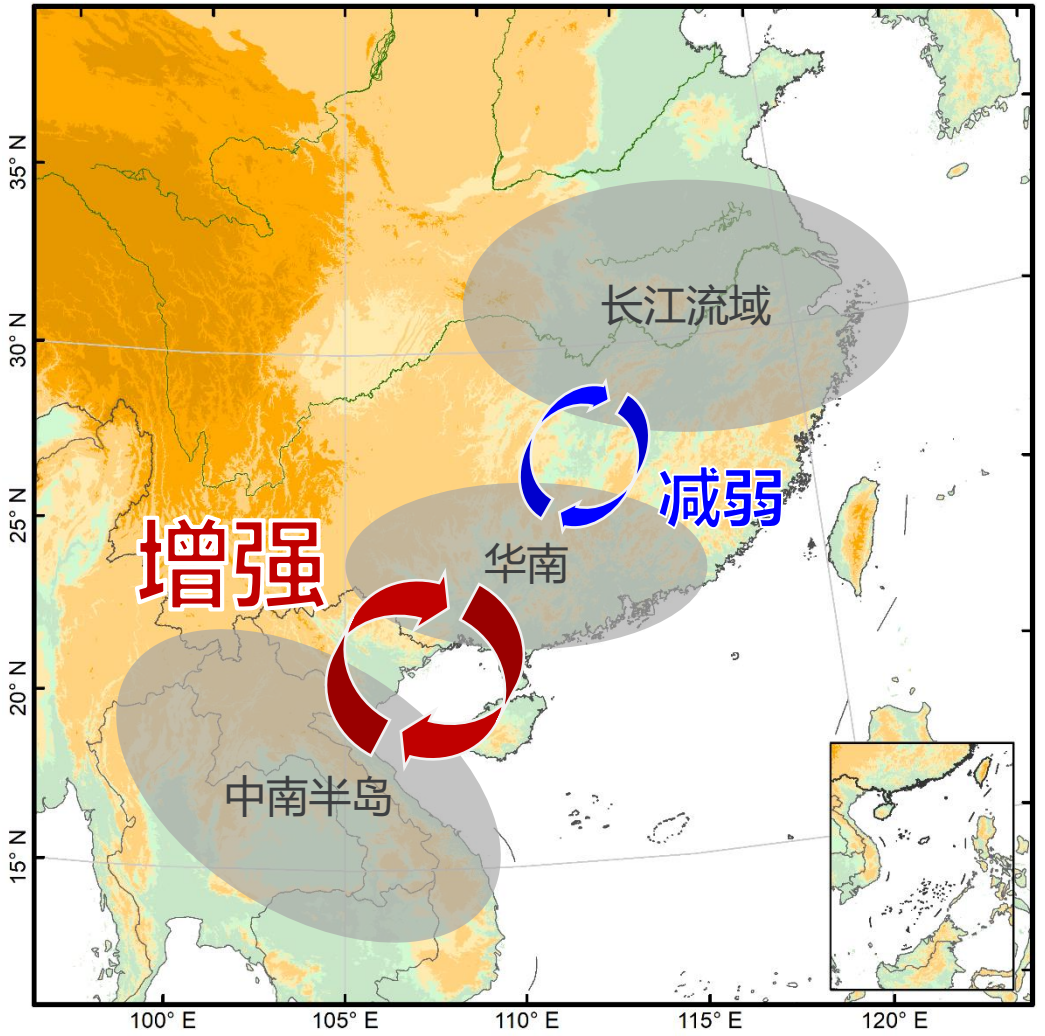
落入长江下游生态陷阱



副高持续增强，利于华南春季维持大规模迁入







Global Change Biology (2023); *PNAS* (2025)

全文总结

IMaRA2026：诚邀各位秋天来南京

群聊：IMaRA-昆虫迁飞及雷达空中生态学会

该二维码7天内(7月30日前)有效，重新进入将更新

昆虫迁飞与雷达空中生态学国际会议

2026年10月16-19日·南京



吴孔明院士



张蔚教授



胡程教授

1. **雷达空中生态学：** Adriaan Dokter、封洪强
2. **迁飞行为、导航与生理调控机制：** Henrik Mouritsen, 谢灿
3. **有益昆虫的开发与利用：** Richard Fuller, 詹帅
4. **迁飞害虫综合管理：** Myron Zalucki, 张云慧



Alistair Drake



Don Reynolds



Myron Zalucki



Sanjay Sane



Felix Liechti



Myles Menz



Richard Fuller



Judy Shamoun-Baranes



Henrik Mouritsen



Stefanescu Constanti



Christopher Hassall



Yuval Werber



Silke Bauer



Pauline Fleischmann



Nir Sapir



Cecilia Nilsson



Karl Wotton



Stanley Heinze

谢谢！ 敬请批评指正！



张孝羲 (1932-2015)　程遐年 (1936-)　翟保平 (1957-)　曾 娟 测报处

特别感谢全国病虫测报体系长期以来的支持和帮助！

曾娟、姜玉英、刘杰、张熠场（全国农技中心）

吴孔明、张浩文、张云慧（中国农科院）

封洪强 & 黄建荣（河南农科院）、张智（北京植保站）

国家自然科学基金项目、国家重点研发计划等项目的支持



五十载迁飞害虫万里追踪



