المحاضرة الرابعة

التحدي البيئي

The Environmental Challenges

د. نضال حسن

تحدد طبيعة الوسط وعوامله البيئية بشكل كبير أي الكائنات يمكن أن تعيش في مناخ أو منطقة معينة. وتشمل العوامل المهمة في البيئة ما يأتي:

- **درجة الحرارة Temperature:** تكيفت معظم الكائنات الحية للعيش ضمن نطاق درجات حرارة ضيق نسبياً، وستموت إن زادت أو نقصت درجات الحرارة.
- **الماء Water:** تحتاج كل الكائنات الحية إلى الماء. يكون الماء على اليابسة، شحيحاً في الأغلب، لذلك فإنّ الهطولات المطرية لها تأثير أساسي في الحياة.
- **أشعة الشمس Sunlight:** يعتمد النظام البيئي كله تقريباً على الطَّاقة المثبتة عن طريق التركيب الضوئي؛ إذ تؤثر أشعة الشمس ووفرتها في امتداد الحياة التي يدعمها النظام البيئي.
- **التربة Soil:** القوام الفيزيائي، ودرجة الحموضة، والمكونات المعدنية للتربة تحدد وبشكل كبير نمو النَّبات، خاصةً توافر النيتروجين والفوسفور.

يحافظ الفرد الذي يواجه تغيراً بيئياً على اتزان بيئته الداخلية وثباتها، وهي حالة تعرف بالاستتباب أو الاتزان الداخلي Homeostasis. تستخدم حيوانات عدة، وكذلك النباتات آليات فيزيولوجية، أو شكلية، أو سلوكية للإبقاء على حالة الاتزان؛ حيث تستعمل حشرة الخنفساء آلية سلوكية لتتغلب على التغيرات الشديدة في توفر الماء، الشكل (1).

الشكل (1): مواجهة تحدي الحصول على الرطوبة

على تلال الرمال الجافة لصحراء ناميبيا في جنوب غرب إفريقيا، تجمع الخنفساء جامعة الضباب *Onymacris unguicularis* الماء من الضباب عن طريق رفع بطنها إلى الأعلى عند قمة تلة؛ حيث يتكاثف الماء على شكل قطيرات على جسمها ويسيل إلى الأسفل نحو فمها.

يمكن رؤية الاستجابات للتغير البيئي على المدى القريب والبعيد. على المدى القريب، أي الفترات الزمنية من دقائق قليلة وحتى كامل فترة حياة الكائن الحي، حيث تمتلك الكائنات طرقاً مختلفة للتغلب على التغير البيئي . على المدى الأطول، يمكن للانتخاب الطبيعي Natural selection أن يعمل لجعل جماعة ما أكثر تكيفاً مع البيئة.

درجة الحرارة والتحدي البيئي

تعدّ درجة الحرارة العامل البيئي الأكثر تأثيراً على الإطلاق في كل البيئات الأرضية؛ وذلك بسبب تأثيره في معظم العوامل البيئية اللاأحيائية الأخرى كالملوحة والكثافة والرطوبة وانحلال الغازات وغيرها، كما تؤثر درجة الحرارة في كمية الغذاء المستهلك والخصوبة والنمو والتوزع الجغرافي للكائنات الحية.

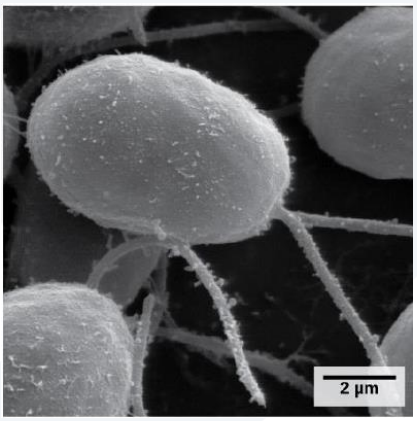
الحدود الحرارية للحياة النشيطة

بسبب خواص بروتوبلاسما (المادة الحية)+ الخلايا التي تتألف منها الكائنات الحية؛ فإن الأنشطة الاستقلابية الطبيعية للكائنات الحية تتم ضمن مجال حراري يتراوح بين 0-50 م°، ولهذا فإن درجة حرارة جزء كبير من الأوساط في الكرة الأرضية تكون محصورة ضمن ذلك المجال، بيد أن هناك بعض الاستثناءات كبعض أنواع الجراثيم التي تعيش في مياه الينابيع الحارة التي تتجاوز درجة حرارتها 85-90 م°، وبعض وحيدات الخلية من المنخربات foraminifera الشكل (2)، التي تعيش في مياه تصل درجة حرارتها إلى 58 م°؛ وتعيش أنواع من النمل على سطح رمال الصحراء التي تتجاوز درجة حرارتها 50 م°.

الشكل (2): قواقع المنخربات foraminifera.

كما يمكن لبعض الكائنات تحمل درجات حرارة منخفضة جداً في حالة الحياة البطيئة أو السكون. هناك بعض الكائنات التي تكيّفت مع الحياة في درجة حرارة قريبة من الصفر مئوية؛ كالطحالب من جنس كلاميدوموناس Chlamydomonas التي قد تنمو بغزارة في الثلج الشكل (3)، وبعض أنواع الحشرات تعيش في قمم الجبال التي تصل درجة حرارتها ليلاً إلى 10- م°. كما أن بعض الثدييات كالرنة وثور المسك والدب والفقمة وبعض طيور البطريق يمكنها أن تعيش وتتكاثر في درجة حرارة تصل إلى 18- م°، وتستطيع هذه الفقاريات متجانسة الحرارة الاحتفاظ

بحرارة جسمها ثابتة بفضل معدلات الاستقلاب العالية والعزل الحراري عن طريق الفراء أو الريش أو الطبقة الدهنية تحت الجلد.



الشكل (3): طحلب الكلاميدوموناس Chlamydomonas.

تقسيم الأنواع وفقاً لتحملها وتساهلها مع تغيرات درجة الحرارة

أولاً: أنواع واسعة الحرارة Eurytherms

هي تلك التي تتحمل تغيرات كبيرة لدرجات الحرارة، والأمثلة عنها كثيرة، فبطني القدم (من الرخويات) *Hydrobia aponensis*، يعيش في نبع في إيطاليا تبلغ درجة حرارته 40 م°، ويمكنه مع ذلك تحمل درجة حرارة قريبة من الصفر مئوية. كذلك فإن الفقاريات متجانسة الحرارة من بين الحيوانات التي تتحمل أيضاً اختلافات كبيرة في درجات الحرارة، فالنمر يتحمل مناخ سيبيريا ومناخ خط الاستواء في الهند. ويعيش الأسد الأمريكي *Felis concolor* في أنحاء القارة الأمريكية كافة؛ من المناطق الشمالية الباردة إلى المناطق الجنوبية مروراً بخط الاستواء.

ثانياً: الأنواع ضيّقة الحرارة Stenotherms

هي الأنواع التي لا تتحمل إلا تغيرات بسيطة في درجة الحرارة. هناك أنواع تتطلب درجات حرارة عالية وتدعى ضيّقة الحرارة المرتفعة كمرجانيات الأرصفة المرجانية التي لا تعيش إلا في البحار التي يتجاوز متوسط درجة حرارتها السنوي 21 م°، ولكنها لا تتحمل المياه شديدة الحرارة كما يحدث حالياً نتيجة التغير المناخي والذي أدى إلى ظاهرة ابيضاض الشعاب المرجانية التي تؤدي إلى موتها.

كما توجد أنواع أخرى ضيّقة الحرارة المنخفضة وتدعى دقيقة الحرارة Microthermal وتكثر في أوساط خاصة كالمغارات وأعالي الجبال، وينتسب إلى هذه المجموعة بعض أنواع مستقيمات الأجنحة من الحشرات التي تعيش في سيبيريا وفي أعالي الجبال.

درجة الحرارة المثلى

المقصود بها درجة الحرارة التي يكون فيها نمو الكائن الحي ونشاطه في أفضل الحالات، وتتغير درجة الحرارة الفضلى بحسب الحالة الفيزيولوجية للكائن الحي وبحسب عوامل الوسط. وهي تختلف بحسب النوع وبحسب مراحل العمر وأطواره، فمثلاً درجة الحرارة المثلى للذباب المنزلي هي 42 م°. وتراوح لدى قمل الإنسان بين 24 م° و 32 م°.

استراتيجيات مواجهة الكائنات الحية لعامل الحرارة

تواجه الكائنات الحية تغيرات درجة الحرارة من خلال استراتيجيتين:

1. **متغيرات الحرارة Heterotherms**

هي كائنات غير قادرة على تنظيم حرارتها الذاتية، فهي تسخن مع ارتفاع درجة الحرارة، وتبرد مع انخفاضها، وتسمى بذوات الدم البارد، وتشمل أغلب الكائنات الحيوانية كاللافقاريات (الحشرات، والرخويات، والديدان....)، والأسماك والبرمائيات والزواحف (من الفقاريات). وتملك الكائنات الحية من متغيرات الحرارة وسائل تكيّف مختلفة (فيزيولوجية، وشكلية، وسلوكية) لمواجهة التأثيرات السلبية للحرارة غير المناسبة.

2. **متجانسات الحرارة Homeotherms**

وهي كائنات تنظم حرارتها وتحافظ على درجة حرارتها الداخلية ثابتة، وتسمى ذوات الدم الحار، ولذا فهي مميزة جداً في استثمارها للوسط، ولكن هذه الحيوانات لا تمثل إلا استثناءات قليلة العدد كالثدييات والطيور. وتواجه متجانسات الحرارة البيئة غير الملائمة حرارياً من خلال تكيّفات شكلية، وسلوكية، وفيزيولوجية.

الكائنات الحية قادرة على الاستجابة للتغيرات البيئية التي تحدث خلال فترة حياتها

يجب أن يتغلب الكائن الحي على الكثير من الظروف البيئية خلال اليوم، أو الفصل، أو طيلة حياته، وذلك من خلال قدرات (تغيرات، تكيّفات، استجابات) فيزيولوجية ، وشكلية، وسلوكية يمتلكها. هذه القُدرات هي نتائج لانتخاب (اصطفاء) طبيعي يعمل على خلفية بيئية محددة عبر الوقت، وهذا ما يفسّر احتمالية عدم استمرار الفرد في الحياة إذا انتقل إلى بيئة جديدة مختلفة عن بيئته الأصلية.

أولاً: التكيّفات الفيزيولوجية

كثير من الكائنات قادرة على التكيُف والتأقلم Acclimatation مع التغيّر البيئي بإنجاز تعديلات فيزيولوجية. على سبيل المثال، أنت تتعرق عندما يكون الجو حاراً، لزيادة فقدان الحرارة بالتبخر، بالإضافة إلى توسع الأوعية الدموية وزيادة في ورود الدم إلى الشعيرات المحيطية في الجلد وخسارة الحرارة بالإشعاع.

ربما يتعرض بعض الأشخاص الذين يزورون المناطق المرتفعة بداية الأمر لمرض المرتفعات الذي تشمل أعراضه اضطراباً في دقات القلب، ودواراً، وتعباً، وصداعاً، واضطراباً بالذهن، وفي حالات حرجة تجمّع السوائل في الرئتين بسبب الضّغط الجوي المنخفض، وما يتبعه من انخفاض في الضغط الجزيئي للأوكسجين، ولكن بعد عدة أيام، عادة ما يشعر هؤلاء الأشخاص بحال أفضل، لأنّ كثيراً من التغيّرات الفيزيولوجية أدت إلى زيادة في وصول الأوكسجين لأنسجة أجسامهم، الجدول (1).

الجدول (1)	التغيرات الفيزيولوجية على ارتفاعات عالية
الخلية	زيادة عدد الجسيمات الكوندرية (المتقدرات الحيوية) المنتجة للطاقة
الدم	زيادة في إنتاج خلايا الدم الحمراء، وارتفاع كمية الهيموغلوبين Hemoglobin في الدم. تناقص قدرة الارتباط الخاصة بالهيموغلوبين، زيادة في معدّل نقل الأوكسجين إلى الأنسجة
العضلات	زيادة كثافة صبغة الميوغلوبين Myoglobin في العضلات
جهاز التنفس	زيادة في معدل التنفس
جهاز الدوران	زيادة كثافة الشعيرات الدموية

تتجنب بعض الحشرات (من متغيرات الحرارة) التجمد في الشتاء بإضافة غليسرول " مضاد للتجمد " في دمائها؛ إذ يمكنه تخفيض نقطة تجمد تلك السوائل إلى 20- م°، كما تقاوم حشرات أخرى التجمد بتحويل كمية كبيرة من مخازن الغليكوجين (السكريات المدخرة) إلى كحولات تحمي أغشية خلاياها من تلف التجمد.

كما تلجأ ثدييات (من متجانسات الحرارة)المناطق الباردة إلى السبات الشتوي Hibernation، وهي تملك القدرة على تخفيض معدلات استقلابها إلى حد تصبح فيه عملياً متغيرة الحرارة، ويمكن أن تخفض حرارتها إلى درجة قريبة من الصفر مئوية، وحينئذٍ تكون عديمة الحركة ونائمة وتستهلك مدخراتها ببطء شديد (المرموط Marmot، والجرذ السنجابي Dormouse، والخفاش، والدب البني).

تكون حلقة تطور أغلب الحيوانات الأرضية في أغلب المناطق المعتدلة، متكيفة مع وجود فصل شتاء بارد، وتكون أثناء هذا الفصل غير نشيطة وفي حالة حياة بطيئة. وهذه هي الحالة العامة للحشرات التي تشكل غالبية الحيوانات الأرضية، حيث تتحمل في الشتاء توقفاً في نموها، وتكون عديمة الحركة وفقيرة بالماء، وهذه الظاهرة تدعى السكون Diapause. وحتى الفقاريات مثل بعض الأسماك والبرمائيات، يمكنها أن تقضي فصل الشتاء عديمة الحركة ومغروسة في الطين.

توجد عند حيوانات المناطق المدارية ظواهر مماثلة، حيث تقضي هذه الحيوانات الفصل غير الملائم أي الفصل الحار والجاف في حالة حياة بطيئة، وتدعى هذه الظاهرة بالخمول (الخمود) الصيفي Estivation. وتكون هذه الظاهرة معروفة جيداً لدى الحشرات والأسماك. وتقضي كثير من ديدان الأرض الفصل الجاف في المناطق المدارية بحالة خمول صيفي، ويعد جفاف التربة مميتاً بالنسبة لهذه الحيوانات.

السحالي التي تعيش في مناخات مختلفة تمتلك تكيفات فيزيولوجية للتلاؤم مع درجات الحرارة المختلفة؛ حيث أن سحالي الصحراء لا تتأثر بدرجات الحرارة العالية التي يمكنها أن تقتل سحلية من شمال أوروبا، ولكن السحالي الشمالية قادرة على الركض، والإمساك بالفريسة، وهضم الغذاء ضمن درجات حرارة منخفضة لا تتمكن عندها سحالي الصحراء من الحركة.

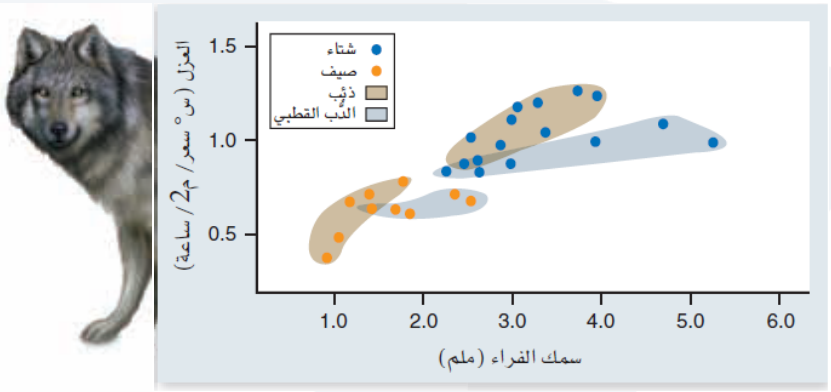
مثال للتكيف مع الصحراء يمكن مشاهدته في الضفادع، معظم الضفادع تمتلك جلوداً رطبةً يمكن من خلالها نفاذ الماء بسهولة. مثل هذه الحيوانات لا يمكنها أن تعيش في مناخات جافة؛ لأنها سوف تعاني الجفاف، وتموت على كل حال، حلت بعض الضفادع هذه المشكلة بتقليل سرعة فقدان الماء لحدٍّ منخفض جداً. أحد الأنواع ، على سبيل المثال ، يُفرز مادة شمعية من غدد متخصصة تعزل الجلد وتُقلل معدلات فقدان الماء بنسبة 95 % .

يعد الجمل من أكثر الحيوانات تكيفاً للمعيشة في المناخ الصحراوي؛ إذ يستطيع الحصول على الماء من أكسدة الدهون المختزنة في سنامه، ويمكنه أن يخفض من إفراز البول خلال اليوم. ففي فصل الشتاء عندما يتغذى الجمل على نباتات خضراء غنية بالماء، يمكنه البقاء 60 يوماً بدون شرب. وفي فصل الصيف عندما يتغذى على أعشاب جافة فقط ، يمكنه البقاء 15 يوماً بدون شرب. وإذا كان الجمل قادراً على البقاء هذه الفترة الطويلة بدون شرب، فإن ذلك يعود لامتلاكه خاصتين هامتين هما:

- يستطيع الجمل وقف تعرقه حالما تنقص كمية الماء في جسمه، كما يستطيع تحمل زيادة في درجة حرارته الداخلية تبلغ 6.2 م°، وفي الليل وبخاصة عند الفجر عندها تبلغ درجة الحرارة حدها الأدنى، تتوسع الأوعية المحيطية بشكل كبير ويفقد الحيوان حرارته الزائدة بالإشعاع.
- يمكنه فقدان كمية من الماء تعادل 30 ٪ من وزن جسمه، بينما لا تتحمل الثدييات الأخرى فقدان 20 ٪ من وزن جسمها. وعندما يجد ماء تحت تصرفه فإنه يعيد هذه الكمية المفقودة بسرعة، وهذا ما لا تستطيعه الثدييات الأخرى. وعلى الرغم من هذه الخواص، فإن الجمل الذي سيعمل في الشمس يجب أن يشرب كل ثلاثة أيام على الأقل حتى يتمكن من تنظيم حرارته الداخلية عن طريق التعرق .

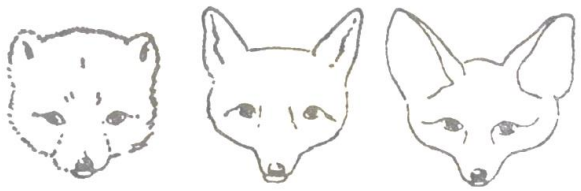
ثانياً: التكيّفات الشكلية (المورفولوجية)

الحيوانات التي تحافظ على درجة حرارة داخلية ثابتة (متجانسات الحرارة أو ذوات الدم الحار) في البيئة الباردة تمتلك تكيفات تقلل من فقدان الطاقة. على سبيل المثال، الكثير من الحيوانات تكون فراءً سميكاً خلال الشتاء، يقوم فراؤها بالعزل الحراري للمحافظة على حرارة الجسم بشكل عام، كلما كان الفراء أسمك، كان العزل الحراري أكبر ولذلك، فإنّ فرو الثّعلب أسمك بثلاث مرات تقريباً في الشتاء منه في الصيف، ويعزل أكثر منه مرتين تقريباً، الشكل (4). وهناك تكيفات شكلية أخرى كامتلاك الحيوانات لجلد سميك؛ وغناها بالدهون.



الشكل (4): سمك الفراء في ثدييات أمريكا الشمالية له تأثير مهم في درجة العزل التي يقدمها.

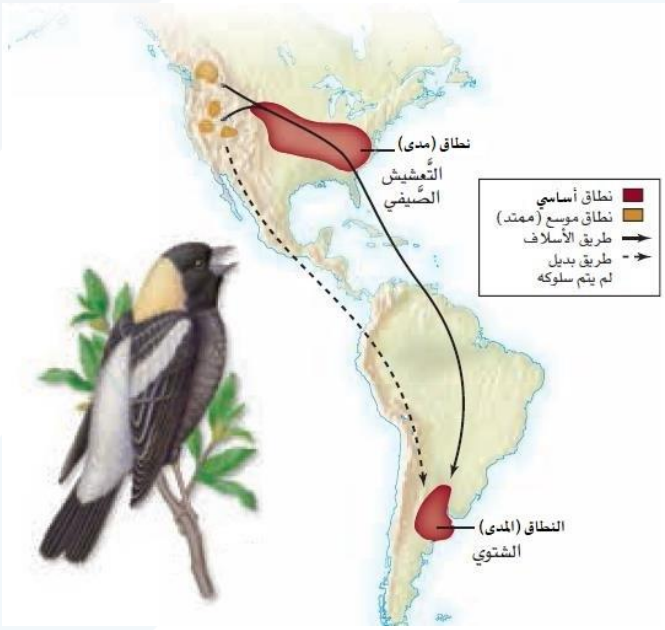
كما أنّ الحيوانات التي تعيش في مناخات مختلفة تظهر اختلافات عدة. الثدييات في المناخات باردة تميل إلى أن يكون لها آذان وأذناب وأطراف قصيرة والهيئة العامة للجسم أكثر تكتلاً - وهي ظاهرة تُدعى قاعدة ألن Allen's rule - التي تقلّل مساحة السطح الذي يفقد الحيوان من خلاله الحرارة، الشكل (5).



الشكل (5): اختلاف قد الأذنين والأنف عند ثعلب الصحراء وثعلب أوروبا وثعلب القطب (من اليمين إلى اليسار).

ثالثاً: الاستجابات السلوكية

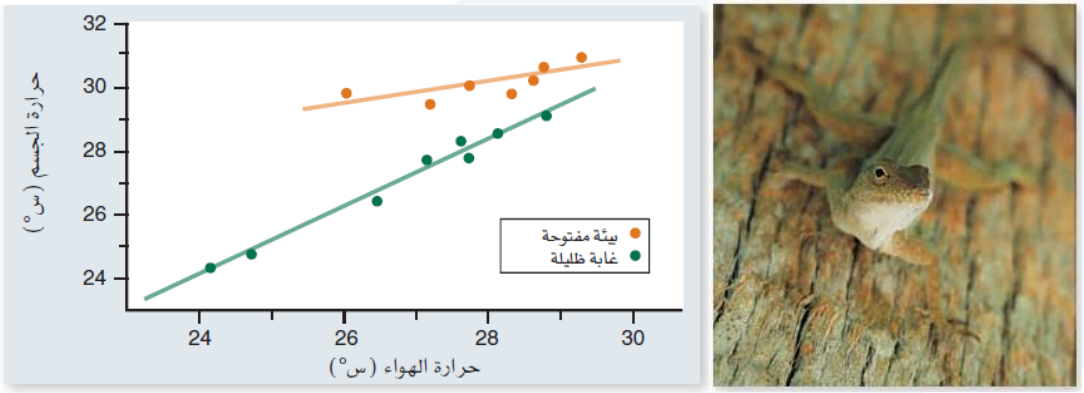
تتعامل الكثير من الكائنات الحية مع التغيّرات البيئية بالانتقال من بقعة جغرافية إلى بقعة أخرى متجنّبة بذلك المناطق غير الملائمة أي تقوم بالهجرة. تتميز الطيور بقدرتها على الهجرة والتنقل الناجح من منطقة إلى أخرى، وقد درست تلك الهجرات المشهورة من قبل العديد من الباحثين والعلماء، الشكل (6).



الشكل (6): هجرة الطيور

اتساع منطقة (نطاق) قضاء الصيف عند الطير الأمريكي *Dolichonyx oryzivorus* حديثاً إلى أقصى الغرب للولايات المتحدة الامريكية عن النطاق الأساسي (الأصلي) في الغرب الأوسط. عندما تهاجر جماعات الطيور الحديثة إلى أمريكا الجنوبية في الشتاء، فإنها لا تطير مباشرة إلى منطقة (نطاق) قضاء الشتاء، و إنما تطير نحو الغرب الأوسط (النطاق الأساسي) أولاً، ثم تستعمل طريق طيران الأسلاف، وبالتالي فإنها بذلك تسلك طريق أطول فيما لو طارت مباشرة نحو منطقة (نطاق) قضاء الشتاء.

تستطيع السحلية الاستوائية أن تبقي درجة حرارة جسمها منتظمة تقريباً في البيئة المفتوحة بالاستلقاء في الأماكن التي تسقط عليها أشعة الشمس، ومن ثم تتراجع إلى الظل أو تعود إلى جحورها عندما ترتفع درجة حرارة جسمها لدرجة كافية. وعلى العكس من ذلك، في الغابات الظليلة، لا تمتلك السحلية نفسها الفرصة لتنظيم درجة حرارة جسمها من خلال طرق سلوكية . لذلك، فهي تصبح متكيّفة ومتأقلمة مع درجة الحرارة المحيطة، الشكل (7). وهناك سلوك آخر عند الكائنات الحية كما عند النحل؛ إذ يدفئ خليته عن طريق هز الأجنحة.



الشكل (7): سحلية عرف الديك في بورتوريكو *Anolis cristatellus* تحافظ على درجة حرارة ثابتة نسبياً من خلال تعريض جسمها لأشعة الشمس؛ وينتج عن ذلك، أنها تستطيع المحافظة على درجة حرارة عالية نسباً حتى بعد أن يبرد الهواء. على العكس، في الغابات الظليلة هذا السلوك غير ممكن، وتتكيّف درجة حرارة الجسم مع درجة حرارة الوسط المحيط.

وكما ذكرنا سابقاً فإن قدرة الكائن الحي على تعديل فيزيولوجيته، أو شكله، أو سلوكه هو بحد ذاته تكيّف التطوّري Evolutionary adaptation، أي نتاج الانتخاب الطبيعي. ومن الممكن أيضاً معرفة نتائج الانتخاب الطبيعي بمقارنة الأنواع القريبة جداً من بعضها التي تعيش في بيئات مختلفة، والتي تكون قد طوّرت تكيّفات فريدة للبيئة الخاصة التي تعيش بها.

انتهت المحاضرة .... بالتوفيق للجميع