32

التلوين
Colouration

بداية من خطوط الحمار الوحشي إلى ألوان الحرباء المتغيرة، تقدم الحيوانات تنوعًا مبهرًا من الأنماط المرئية. ينتج هذا التلوين سمات ضرورية للبقاء والتكاثر مثل التمويه لخديعة الحيوانات المفترسة أو الفريسة، كما يمكن أن يكون إشارات لجذب زوج. إذن، كيف يخلق جسمنا هذه الأنماط اللونية؟

تنتج الألوان عن الانتخاب الطبيعي فمثلًا تكون الألوان عامة جدًّا أو موحدة حتى تتكيف مع البيئة الفيزيائية، فعلى سبيل المثال يحمي لون البشرة من أشعة الشمس أو امتصاص الحرارة، بينما يقود التفاعل الحيوي أنماط التطور. كما أن الكائنات هي الوحيدة التي لها عيون، تعتبر الحيوانات هي الجمهور المستهدف لعروض الطبيعة المرئية ولذلك غرضان: أولًا: crypsis وهي قدرة الحيوان على تجنب ملاحظة وتتبع الحيوانات الأخرى (التمويه والاستراتيجيات الإيكولوجية التي تجعل الأفراد أكثر ظهورًا أو أقل) أو التواصل (إرسال إشارات صريحة، مثل تلون الضفدع السام كنوع من التحذير لمن يقترب منه من الأعداء أو الخداع في المحاكاة). كما طرح داروين عام 1871 في كتابه: «علاقة أصل الإنسان والاختيار بالجنس»، وتسمح الإشارات الملونة للأنثى أن تختار زوجها.

الخط الزمني

1665م	1871م	1973م
كشفت ملاحظات هوك Hooke عن البنية الميكروسكوبية لريش الطاووس.	وصف داروين كيف يؤدي الانتخاب الطبيعي إلى اختلاف الألوان بين الأجناس.	تم إثبات تمويه عمى الألوان في الأخطبوط من خلال اختبارات بواسطة ماستجر.

الأصباغ والتراكيب

تعتبر الثدييات ظلالًا لونية من الرمادي أو البني لأنها تستطيع أن تصنع تنوعات في صبغة أحاديـة وهـي الميلانين التـي تُضاف إلى الجلـد أو الفراء. وتحتـوي الفقاعات الشـحمية داخل الصبغيات «حاملات الأصباغ chromatophores» على خلايا متخصصة تصنع ظلالًا وألوانًا من خـلال توزيـع الصبغيات التـي تحتوي على فقاعات. وتكتسـب الفقاريات الأخـرى لونها من مصـادر مختلفـة فمثلًا تخلق الجزيئـات الكاروتينيـة carotenoid الصفراء والحمـراء الموجودة في الغـذاء اللـون الوردي للبجـع. وتحتوي الثدييـات والطيور عـلى نوع واحد مـن الخلية حاملة الأصباغ المتفرعة من الخلايا الميلانينية، بينما تحتوي الأسماك على أنواع متعددة.

يحـدد اللـون بطول موجة الضوء المنعكس في العين من الشيء نفسـه. حيث تشـكل البقع الزرقاء البنية الشـبيهة بالعيون الموجودة في ذيل الطاووس الأسـاس للصبغيات لكن، تنثر بنية الريش ضوءًا يكوِّن اللونين. ويعتبر الموسـوعي الإنجليـزي روبـرت هـوك أول مـن دوّن هـذا التأثير الفيزيائي في كتابـه: «الفحص المجهري» عـام 1665، كـما رأى أن الريـش يتكـون مـن صفائح رقيقة تشـبه أصـداف اللؤلؤ. كما تصنع التراكيب اللونية لونًا أزرق فضيًا للأسـماك وهي أغشـية الخلايا القزحية (ظاهرة فيزيائية تظهر

«غالبًا ما يكون الذكور دائمًا متوددين بألمعيتهم أو بألوانهم الخادعة التي عادة ما ترتب في أنماط رائعة، بينما تترك الإناث على طبيعتهن بلا زينة».

تشارلز داروين Charles Darwin

1994م	2003م	2015م
اكتشـاف الهرمـون الـذي يحدد تراكـم صبغة الميلانين في الثدييات.	أثبـت نوسـلين فولهـارد أن الأنـماط تتأثر بتفاعلات خلية الصبغة.	أثبـت ميلنوكوفيتـش Milinkovitch أن الحرباء تغير لونها باستخدام بلورات جلدها.

بعض الأسطح متغيرة اللون عند تغيير زاوية النظر إليها) التي تحتوي على صفائح عاكسة مصنوعة من الجوانين (أحد أحرف الـDNA الكيميائية). في الواقع، يرجع كل اللون الأزرق والقزحي بداية من أجنحة الفراشات وحتى ريش الطيور إلى ظاهرة التراكيب الميكروسكوبية أو النانوية التي تجعل الضوء يرتد.

الأنماط

التظليل الظهري البطني المعاكس هو أن يكون لون الظهر داكنًا أكثر من البطن، كما يعتبر النمط الفعال الذي يمثل تمويهًا أساسيًّا لدى الحيوانات مثل الأسماك والطيور. من أعلى، تصبح رؤيتها أصعب سواء كانت على الأرض أو في أعماق المياه، ومن أسفل، يصبح تحديد الجانب السفلي فاتح اللون المقابل للسماء الصافية أكثر صعوبة. وتحدد الهرمونات نمو التظليل المعاكس في الثدييات مثل «تأشير البيتيد في حيوان الغوطي agouti» الذي اكتشفه باحثون أمريكيون بقيادة ريتشارد وايشك Richard Woychik، ووليام ويلكسون William Wilkison، وروجر كون Roger Cone عام 1994.

كيف تنشأ الأنماط المعقدة؟ تنشأ حاملات الأصباغ من القشرة العصبية وهي مجموعة عابرة من الخلايا الجذعية الجنينية التي تنشئ أجزاء من الرأس والجهاز العصبي المحيطي. وعندما تنمو الكائنات وتصل للبلوغ تنقسم الخلايا الحاملة للأصباغ وتهاجر مخلِّفة بذلك كثافات مختلفة الألوان والأنماط. ويعتبر السمك الصغير المخطط (الزرد zebrafish) نموذجًا لدراسة الكائنات الفقارية، حيث حدد الباحثون أكثر 100 جين تؤثر على تكوين النمط. وفي عام 2003، أثبتت عالمة الأحياء الألمانية كريستيانه نوسلين فولهارد Christiane Nüsslein Volhard أن الطفرات في جينات الفهد بدلت التفاعلات بين الخلايا حاملة الأصباغ المختلفة، مسببة بذلك نمو البقع في الحيوانات بدلًا من الخطوط، إذن ساعد نمو السمك الصغير المخطط (الزرد zebrafish) في تفسير كيف يصبح الفهد ذا بقع في جسمه.

الضوء الحيوي والفلورية

بينما تعتمد أغلب ألوان الكائنات على انعكاس الضوء، يمكن لبعض منها أن يولد إضاءة من تلقاء نفسه. حيث ينبعث الضوء من خلال تفاعلات كيميائية، فمثلًا تتوهج صبغة اللوسيفرين luciferin (جالبة الضوء) بعد أن تتحد مع الأكسجين، بينما ينشط الأيكورين aequorin مع الكالسيوم. ويعتبر الضوء الحيوي شائعًا في اللافقاريات ويلعب نفس الدور مثل لون الأنماط للاتصال. فعلى سبيل المثال، ينبه توهج الدودة الحيوانات المفترسة إلى سُمِّيتها، وتسعى الخنافس المضيئة البالغة لجذب زوج، كما يبعث حبار الخنفس الضوء الذي يعمل كتمويه مثل التظليل المعاكس. وتقدم الحيوانات الباعثة للضوء واحدًا من أكثر الأدوات نفعًا في علم الأحياء الجزيئي وهو البروتين الفلوري الأخضر green fluorescent protein (GFP). أما مع الجزيئات الفلورية الأخرى، فيتوهج البروتين الفلوري الأخضر عندما ينشط بالضوء بما فيه المنتج من الأيكورين. في عام 1961، قام العالم الياباني أوسامو شيمومورا Osamu Shimomura بتصفية كلا الجزيئين من قنديل البحر. وفي عام 1992 فصل دوجلاس براشر Douglas Prasher جين البروتين الفلوري الأخضر وطرح استخدامه كـ«مُخبِر» لتصور النشاط الجيني من خلال إدخاله في الجين التالي المرغوب فيه وبإمكانك أن تلاحظ هل يعمل الاثنان أم لا، وذلك استنادًا على توهج البروتين الفلوري الأخضر. بعد عامين، اختبر عالم الأحياء الأمريكي مارتن شالفي Martin Chalfie ذلك على الدودة الخيطية. ولاحقا ركّب روجر تسيان Roger Tsien ألوانًا أخرى بدءًا من تطور ألوان قوس قُزَح التي تلقي بضوئها على العمليات الحيوية.

التغير الديناميي

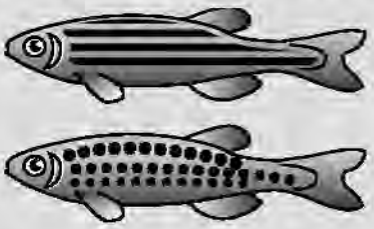
بينما تستخدم الحرباء التمويه، تغير لونها بالأساس للتواصل. وتقوم السحالي بالشيء ذاته حيث تتحول من اللون الأخضر إلى الأحمر عندما تتم إثارتها. في كثير من الحيوانات ذات التغير اللوني الديناميي، يُفترض أن ذلك يتحدد عن طريق التغير اللوني الفسيولوجي من خلال الهرمونات التي تصدر الإشارات للخلايا حاملات الأصباغ لتشتت أو تُراكم فقاعاتها التي تحتوي على الأصباغ وتبدل بريقها. لكن في عام 2015، كشف عالم الأحياء مايكل ميلينوكوفيتش Michel Milinkovitch أن حرباء النمر تغير لونها باستخدام البلورات في طبقة الخلايا القزحية الموجودة في جلدها. وتُصنع «البلورات النانوية الفوتونية»

من الجوانين، مثل التكدسات العاكسة في خلايا السمك. ويمكن للحرباء أن «تضبط» المساحة بين الذرات في الشبكة البلورية لتعدل الضوء المنعكس. بالإضافة إلى ذلك، يمكنها التمويه والمغازلة لأن تغيير اللون يسمح لها بتنظيم حرارتها أيضًا.

ليست الحرباء هي سيدة تغيير الألوان وإنما يشاركها فيه الرأسقدميات كالأخطبوط والحبار والمحار كذلك. حيث يسمح الجهاز العصبي المتطور وعينا الرأسقدميات بتقييم المشهد البصري بشكل سريع وتوفيق جسمه مع الخلفية مستخدمًا الأنماط الداكنة والفاتحة التي تعطل قدرة الحيوان على تذكر إطاره وشكله. وهذا على عكس الفقاريات، فحاملات الأصباغ في الرأسقدميات ليست خلايا وإنما أعضاء مرنة بها أكياس تحتوي على أصباغ وعضلات تتحدد عن طريق العصبونات (الخلايا العصبية) الحركية. إذن، فبدلًا من الاعتماد على حركة الهرمونات البطيئة نسبيًا، تسمح حاملات الأصباغ المحكومة من المخ مباشرة بتغيير اللون بسرعة. حيث يمكن للأخطبوط شائع الانتشار Octopus vulgaris أن يتحول في ثانيتين من التمويه الكامل إلى الخداع.

المنقط والمخطط

تحتوي سمكة الزرد المخططة على 4 أو 5 خطوط زرقاء وصفراء بطول جسمها. وقد حدد علماء الأحياء التطوريون حوالي 20 جينًا يمكن أن تتطافر لتكوين أنماط مختلفة دون أن تؤثر على بقائها. كما تؤثر تلك الجينات على معلومات التلوين أي الخلايا الملونة أو التفاعلات بين الخلايا. على سبيل المثال، تؤثر الطفرات في جين الفهد على تفاعل من خلية إلى خلية وتنتج سمكة منقطة.



بالرغم من أن التوافق مع الخلفية يتطلب القدرة على رؤيتها، فمن الغريب أن الرأسقدميات لديها عمى ألوان. وقد تم إثبات ذلك عام 1973 على يد عالم الحيوان البريطاني جون ماسنجر John Messenger الـذي قـام بتدريـب أخطبوط على التمييـز بين بريق الألـوان وليس درجاتها. وفي عـام 2005، قـام عالما الأحياء ليديا ماثجـر Lydia Mathger وروجر هانلون Roger Hanlon بوضع الحبار في مربعات تشبه شكل الشطرنج مرة في مربعات صفراء/ زرقاء ومرة في مربعات خـضراء/ رمادية تتماشـى مع أعلى نقطة في طـول الموجة (492nm) لأصباغهـا الواضحة. لكن الحبار فشـل في كلا الاختبارين مستجيبًا لجسم النمط الموحد. ولكن على الرغم من تمويه عمى الألوان مازالت الرأسقدميات تخدع الحيوانات الأخرى.

الفكرة الرئيسة

ليست أنماط ألوان الحيوانات كما تبدو دائمًا