الرياضيات والاقتصاد
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 20 نوفمبر 2023
doi: 10.3389/frym.2022.834049-ar

ما علاقة جلد السمكة بالرياضيات؟

Blake Shirman [1] ***و Alexandria Volkening*** [2*]
[1]قسم العلوم الرياضية، جامعة دي بول، شيكاغو، إلينوي، الولايات المتحدة
[2]قسم الرياضيات، جامعة بيردو، ويست لافاييت، إنديانا، الولايات المتحدة

ما الذي يخطر ببالك عندما تفكر في الأسماك؟ قد يتبادر إلى ذهنك السمكة الذهبية، أو شخصيات كرتونية مثل السمكة دوري أو نيمو، أو السلمون المرقط. من السمات المشتركة بين كل هذه الأسماك النقوش على جلدها، مثل الخطوط البيضاء والسوداء على الجلد البرتقالي لسمكة نيمو الشهيرة، والبقع على السلمون المرقط. أما السمكة الذهبية، فلديها نقوش أيضًا، ولكنها كلها باللون الذهبي (ما يجعلها غير ملفتة للنظر). ما السر في أن بعض الأسماك لديها خطوط، في حين نجد لدى غيرها بقعًا أو نقوشًا أحادية اللون؟ هذا سؤال صعب، ولذلك يحتاج العلماء إلى أدوات من تخصصات مختلفة للإجابة عنه. في هذا المقال، سنستعين بعلم الأحياء والرياضيات وترميز الكمبيوتر لمحاولة تفسير سبب اختلاف نقوش الجلد بين الأسماك.

المراجعون الصغار

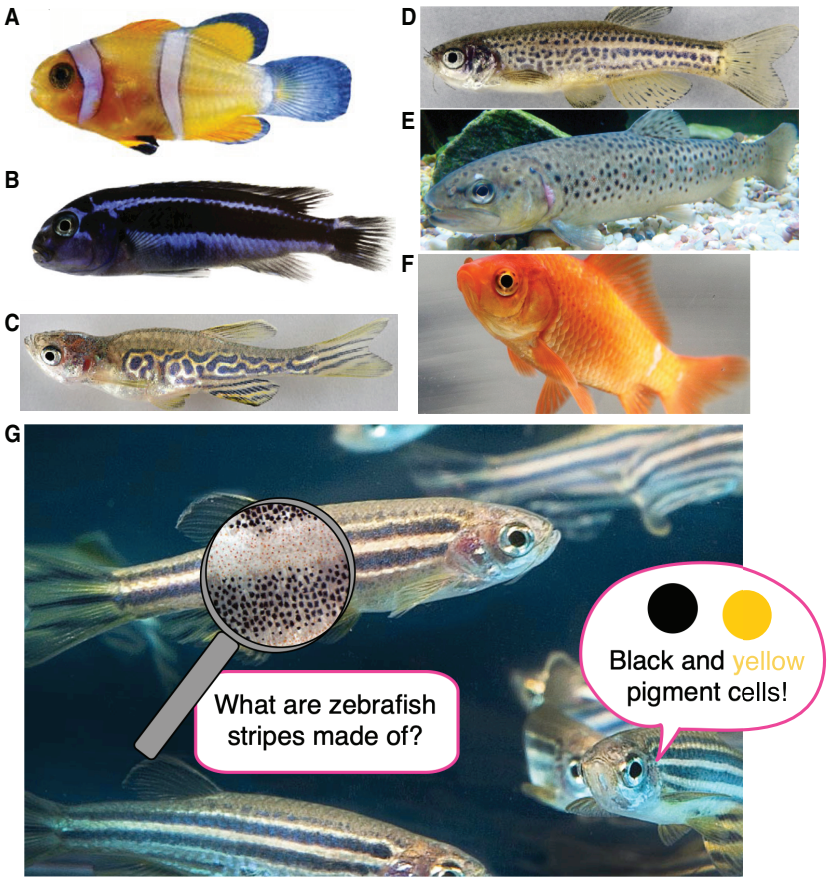
FELIX
العمر: 10

LORELEI
العمر: 12

MIRA
العمر: 8

ممّ تتكون نقوش جلد الأسماك؟

توجد نقوش الجلد لدى العديد من أنواع الحيوانات. فالحمار المخطط لديه خطوط، والنمر لديه بقع، ولكننا نجد في جلد الأسماك كل أنواع النقوش، مثل الخطوط والبقع وشكل المتاهات والنقوش أحادية اللون (شكل 1) [1]. وسمك الدانيو المخطط (بالإنجليزية zebrafish) (شكل 1G) مفيد في التجارب، ولذا يفضله العديد من العلماء [2, 3].



شكل 1

تتميز الأسماك بكل أنواع نقوش الجلد المثيرة للاهتمام. **(A)** خطوط بيضاء على خلفية برتقالية **(B)** خطوط أرجوانية وسوداء **(C)** نقوش على شكل متاهة **(D, E)** بقع **(F)** أحادية اللون **(G)** سمك الدانيو المخطط. وتتكون هذه النقوش من خلايا صبغية. (حقوق الصور: **(A)** Salis et al. [4] with permission from John Wiley & Sons, Copyright (2019) John Wiley & Sons **(B)** Irion et al. [2] (licensed under CC BY-NC-ND 4.0)؛ **(C)** Frohnhöfer et al. [1] (CC-BY 3.0)؛ **(D)** Singh et al. [3] with permission from Elsevier, Copyright (2015) Elsevier **(E)** Zouavman Le Zouave (CC BY-SA) *via* Wikimedia **(F)** Bjwebb at English Wikipedia, Public domain, *via* Wikimedia **(G)** مقتبس بعد تعديله وجمعه من Frohnhöfer et al. [1] and (CC-BY 3.0) Oregon State University (CC BY-SA) *via* Wikimedia Commons.

الخلية الصبغية (Pigment cell)

هي وحدات صغيرة تتكون منها كل الكائنات الحية (فنحن نتكون من خلايا، وكذلك جلد الأسماك)، وتتميز الخلايا الصبغية بوجود صبغة (لون).

عند النظر إلى سمك الدانيو المخطط من بعيد، نرى خطوطًا سوداء وصفراء. ولكن عند فحص هذه السمكة تحت المجهر، نجد أن النقوش تتكون من نقاط صغيرة للغاية أو خلايا الصبغية. تتعدد أحجام وألوان الخلايا الصبغية، فبعضها كبير وأسود (حاملة الميلانين) وغيرها صغير وأصفر (حاملة الصبغ الأصفر). وهناك ألوان أخرى للخلايا الصبغية، وحتى البشر لديهم خلايا صبغية في الجلد.

قواعد تتبعها الخلايا لتكوين الخطوط

عرفنا إذًا أن نقوش جلد الأسماك تتكون من خلايا صبغية. والأمر المدهش بشأن الخلايا الصبغية أن من وظائفها الفعلية تكوين الخطوط التي نراها على جلد الأسماك [5]. في هذا الفيديو، يمكنك ملاحظة تكوّن نقوش أثناء نمو سمكة الدانيو المخطط. هل تلاحظ حركة الخلايا السوداء في الفيديو؟ توجد خلايا صغيرة صفراء أيضًا، ولكن لا يمكن رؤيتها بسهولة.

يمكنك تصوّر كل خلية صبغية في جلد سمكة الدانيو كإنسان يتحرك بين مجموعة. فكما أن بإمكانك التجول في غرفة مليئة بالناس، يمكن للخلايا الصبغية أيضًا التحرك في الجلد. وتتحرك الخلايا الصبغية السوداء والصفراء وتتصرف بطرق معينة (أو تتبع قواعد محددة) لتكوين النقوش. ومن هذه القواعد أن الخلايا الصفراء تتبع الخلايا السوداء، تقريبًا كلعبة *الطاردة*. نرى في هذا الفيديو خلية سوداء في المقدمة وتلاحقها خلية صفراء [6]. مدهش!

كيف يدرس العلماء نقوش جلد الأسماك؟

في حين أنه تم بالفعل تفسير القواعد التي تحكم سلوك الخلايا الصبغية لدى سمكة الدانيو المخطط (مثل اتباع الخلايا الصفراء للخلايا السوداء [6])، ما زالت الكثير من القواعد غامضة حتى الآن. ويبذل العلماء قصارى جهدهم لاكتشاف هذه القواعد. بما أن الخلايا صغيرة للغاية، تصعب رؤيتها وملاحظة تفاعلها مع بعضها في الجلد. بالإضافة إلى ذلك، يستغرق نمو سمكة الدانيو شهورًا [3]، ولهذا السبب على علماء الأحياء التحلي بالصبر في تجاربهم. وهنا يأتي دور الرياضيات وترميز الكمبيوتر، فالرياضيات تتناول في مجملها النقوش والأنماط والقواعد والألغاز، ويمكن الاستعانة بها مع علم الأحياء لمحاولة تفسير سلوك الخلايا [7, 8]. يستخدم علماء الرياضيات والأحياء أدوات مختلفة لدراسة المسائل نفسها. وبالجمع بين أفكارهم، يسهل تفسير كيفية تكوّن الخطوط لدى أسماك الدانيو المخطط.

في حين أن علماء الأحياء يدرسون الأسماك من خلال وضعها تحت المجهر وإجراء التجارب، يكتب علماء الرياضيات القواعد المفسرة للسلوك المحتمل للخلايا [7, 8]. تُسمى هذه القواعد والمعادلات بالنموذج الرياضي، وهو طريقة لوصف شيء ما بشكل رياضي. ومن المهم تذكّر أن النموذج ما هو إلا اجتهاد جيد، ولكنه قد لا يكون صحيحًا. لاختبار القواعد، يستخدم علماء الرياضيات ترميز الكمبيوتر لمحاكاة نقوش جلد الأسماك، وتشبه هذه العملية تربية الأسماك على كمبيوتر. من ميزات محاكاة نقوش جلد الأسماك أنها تستغرق مجرد دقائق معدودة، وليس أشهر...ولكن الأسماك التي تتم محاكاتها للأسف ليست صالحة للأكل :-)

النموذج الرياضي (Mathematical model)

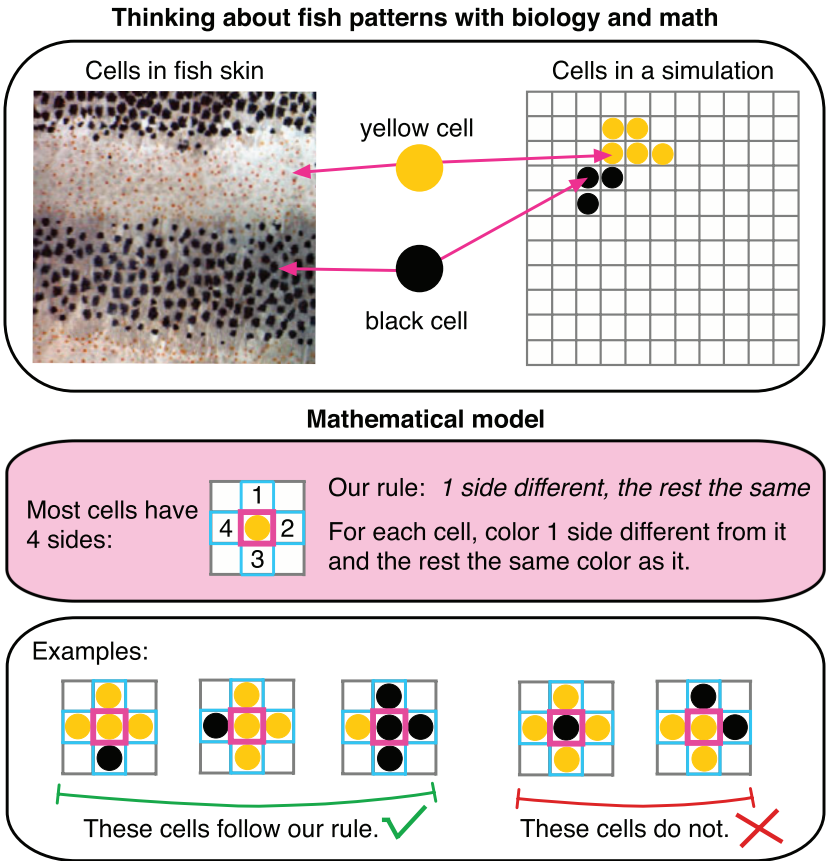
القواعد أو المعادلات التي تصف شيئًا ما بطريقة رياضية. في هذا المقال، تُعد قاعدة "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب" جزءًا من نموذجنا الرياضي.

المحاكاة (Simulate)

هي تقليد نظام من العالم الواقعي على كمبيوتر. يمكنك محاكاة نقوش جلد الأسماك على موقعنا الإلكتروني باستخدام ترميز الكمبيوتر ونموذج رياضي، بحيث يحصل الكمبيوتر على توجيهات: https://simulatingzebrafish..io/zebrafish-outreach/

بناء نموذج رياضي لخطوط أسماك الدانيو

نحن الآن جاهزون لبناء نموذج رياضي لنقوش جلد سمك الدانيو المخطط، وأول خطوة وصف جلد الأسماك كلوحة مربعة (شكل 2). وكل مربع في اللوحة يكون إما خاليًا (لونه أبيض) أو به خلية صفراء أو به خلية سوداء. لمحاكاة نقوش جلد الأسماك، يجب تحديد مكان ظهور الخلايا السوداء والصفراء على اللوحة المربعة، أي علينا وصف قواعد سلوكها. يدرك علماء الأحياء أن الخلايا السوداء تفضل في الغالب أن تكون بالقرب من أمثالها، كما أن الخلايا الصفراء تحب أن يكون أغلب الخلايا المحيطة بها مثلها كذلك. وسنستخدم هذه الحقيقة لبناء نموذجنا الرياضي.



شكل 2

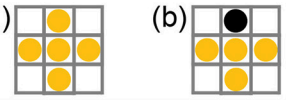
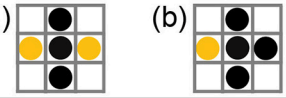
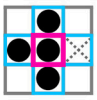
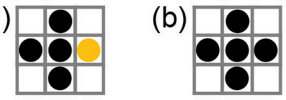
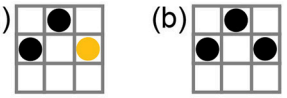
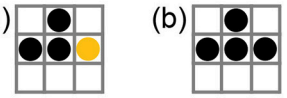
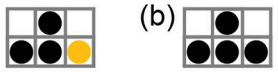
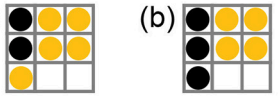
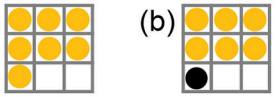
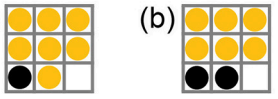
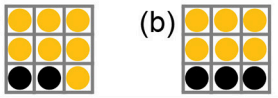
شكل 2

تتبع الخلايا قواعد لتكوين النقوش. لمحاكاة النقوش من خلال نموذج رياضي على كمبيوتر، تخيّل جلد الأسماك كلوحة مربعة [7]، ثم اختر قاعدة للون الخلية في كل مربع. قاعدتنا المطبّقة هي: "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب". إذا وضعت إصبعك على خلية ما في الوسط (مربع ورديّ)، من المفترض أن تكون إحدى الخلايا المجاورة لها (ذات الإطار الأزرق) بلون مختلف عن هذه الخلية الوسطى، في حين تكون بقية الخلايا المجاورة بنفس لون الخلية الوسطى. تم اقتباس صورة "الخلايا في جلد الأسماك" بعد تعديلها من Frohnhöfer et al. [1] (CC-BY 3.0).

في شكل 2، نجد أن كل خلية في اللوحة المربعة تحيطها 4 خلايا مجاورة (إلا إذا كانت عند حافة أو ركن). قاعدتنا المطبّقة هي: "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب". معنى هذا أنك إذا وضعت إصبعك على خلية صفراء، فمن المفترض أن تكون إحدى الخلايا المجاورة لها سوداء (مختلفة) وبقية الخلايا المجاورة صفراء (مماثلة). للتدرّب على هذه القاعدة، حاول ملء الخانات في جدول 1 (توجد التعليمات والإجابات في أسفل الجدول).

جدول

حدد الخيار الذي يتبع النموذج الرياضي في شكل 2.

Problem number	Fill the ⊠ spot	Look at the cells outlined in **pink** or **blue**. Circle the option that follows the rule: 1 side different, the rest the same
1		 (a) (b) (c) not enough info to decide
2		 (a) (b) (c) not enough info to decide
3		 (a) (b) (c) not enough info to decide
4		 (a) (b) (c) not enough info to decide
5		 (a) (b) (c) not enough info to decide
6		 (a) (b) (c) not enough info to decide
7		 (a) (b) (c) not enough info to decide
8		 (a) (b) (c) not enough info to decide
9		 (a) (b) (c) not enough info to decide
10		 (a) (b) (c) not enough info to decide

ضع إصبعك على المربع الورديّ، ثم استخدمه والخلايا الزرقاء المجاورة له لاختيار لون المربع ذي العلامة .X في المسألة 6، يحيط بالمربع الورديّ ثلاث خلايا مجاورة فقط لأنه على حدود اللوحة. الإجابات: 1b، 2b، 3a، 4c، 5c (يجب أن تكون إحدى الخلايا المجاورة للخلية الوسطى صفراء، ولكنها يمكن أن تكون على يمينها أو أسفلها)، 6a (توجد هذه الخلية على حافة اللوحة وبالتالي لديها 3 خلايا مجاورة فقط، ما يوفر لنا معلومات كافية الآن)، 7b, 8b, 9b, 10b.

جدول

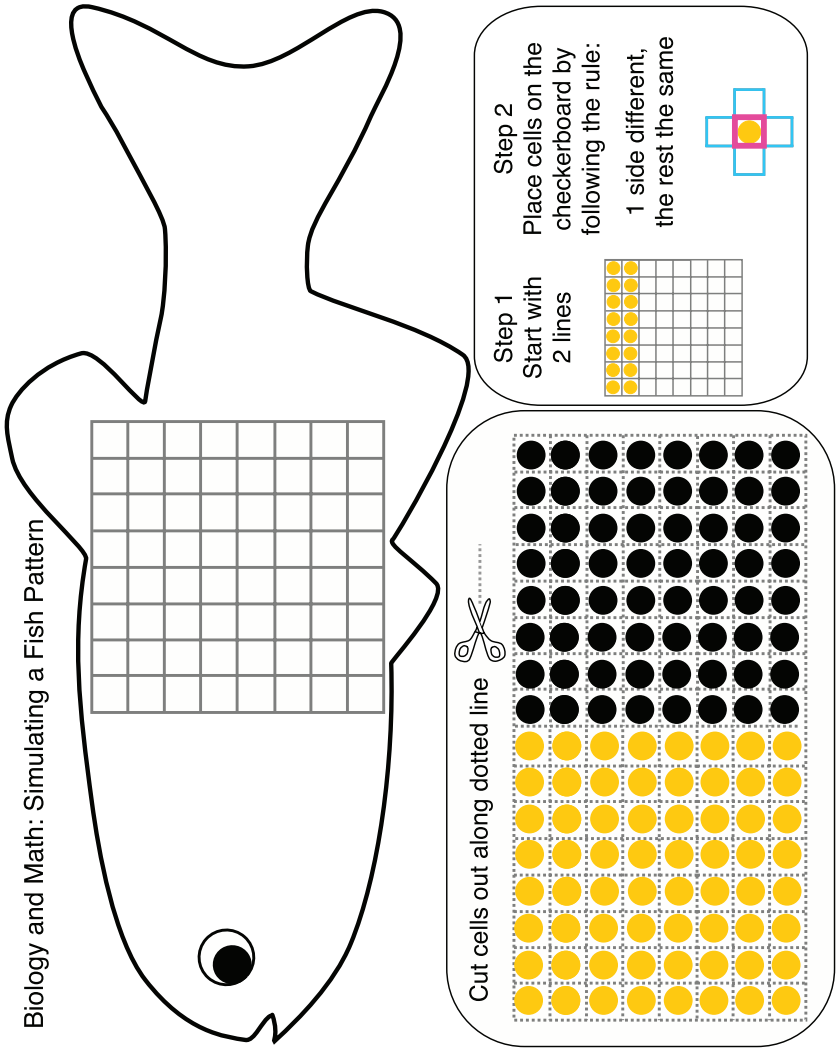
يتضمن نموذجنا قاعدة واحدة، ونحن نبسّط في الواقع كل أشكال السلوك الفعلي للخلايا الصبغية عند أسماك الدانيو المخطط. ولكن لا بأس بذلك، فعلماء الرياضيات يبدأون بالقواعد البسيطة عند إنشاء النماذج، ثم يبنون نماذج أكثر واقعية. والنماذج البسيطة تساعد العلماء على التعلم، لذا فهذا النموذج ما هو إلا خطوة أولى. إذا أردت التعرف على نماذج أكثر واقعية يعمل عليها الرياضيون الآن، يمكنك الاطلاع على المرجع رقم [8].

مهمة محيرة: محاكاة خطوط جلد أسماك الدانيو

ما النقوش الناتجة عن قاعدة "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب"؟ يمكنك محاولة بناء نقوش جلد أسماك باستخدام شكل 3.

شكل 3

استخدم هذه الصورة لتشكيل نقوش جلد سمكة بالاستعانة بعلم الأحياء والرياضيات. املأ اللوحة المربعة داخل السمكة باتباع الخطوتين 1 و2. وبعد الانتهاء، اطبع هذه الصفحة مرة أخرى. ستقوم الآن بدور عالم رياضيات، فضع قواعدك لاكتشاف النقوش الأخرى التي يمكنك تشكيلها. كيف يمكنك تغيير الخطوة 2 لتكوين نقوش جلد سمكة ذهبية؟



شكل 3

اطبع هذا الشكل، واقتص الخلايا السوداء والصفراء، ثم اتبع هذه الخطوات:

- **الخطوة 1:** يتكون لدى سمكة الدانيو خط أصفر واحد في صغرها، لذا ابدأ بوضع خطين من الخلايا الصفراء في أعلى اللوحة.
- **الخطوة 2:** املأ باقي اللوحة المربعة باتباع قاعدة "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب".

ابدأ بملء المربعات في أعلى اللوحة، ثم حرّك إصبعك ببطء أسفل السمكة من اليسار إلى اليمين. ما النقوش التي ستتكون؟ من خلال اتباع الخطوات في شكل 3، تقوم يدويًا بنفس الخطوات التي سينفذها الكمبيوتر لمحاكاة نقوش جلد سمكة. استخدمنا ترميز الكمبيوتر لإنشاء نقوش جلد الأسماك، ويمكنك الاطلاع على موقعنا الإلكتروني لإجراء محاكاة بنفسك.[1]

[1] عند الانتهاء من النقوش، قد تلاحظ أن الخلايا في الصفين العلوي والسفلي من اللوحة لا تتبع قاعدة "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب". ولكن لا بأس بذلك، فالأسماك لها رأس وذيل ينتهي عنده جسمها، والخلايا هناك لها سلوك مختلف قليلاً.

ما سرّ أهمية دراسة نقوش جلد الأسماك؟

صحيح أن النقوش على جلد الأسماك جذابة، ولكن ما السبب في دراسة علماء الأحياء والرياضيات لها؟ ترتبط الإجابة بطفرات النقوش والطب والبشر.

ما الذي سيحدث لو لم تتبع الخلايا الصبغية قواعدها المعتادة؟ قد ينتج هذا عن تعرّض جيناتها الطفرة في جيناتها [2, 9]. شكل 1G ليس الصورة الوحيدة لأسماك الدانيو المخطط، فالشكلان 1C, 1D يعرضان أيضًا أسماك الدانيو، ولكن مع طفرات. بسبب هذه الطفرات، تختلف نقوش هذه الأسماك لأن خلاياها تتبع قواعد مختلفة (الشكلان 1C, 1D). فبما أن جينات الأسماك تحدد هذه القواعد، تؤدي هذه الطفرات الجينية إلى طفرات في القواعد والنقوش. يمكن أن يتعرض البشر لطفرات جينية أيضًا، ما قد يتسبب أحيانًا في الإصابة بأمراض. قد لا يتشابه مظهر أسماك الدانيو والبشر، ولكنهما يتشاركان في الكثير من الجينات المتشابهة، ولهذا من المهم دراسة أسماك الدانيو، فإذا تمكنا من معرفة القواعد التي تتبعها الخلايا لتكوين النقوش العادية وغير العادية (بسبب الطفرات) على جلد الأسماك، قد نفهم بشكل أفضل السلوكيات العادية وغير الصحية لخلايا البشر أيضًا.

الطفرة (Mutation)

تغيّر في جينات الحيوان من الوضع الطبيعي إلى شيء غير معتاد. في العادة، نجد لدى أسماك الدانيو خطوطًا (شكل 1G)، ولكن أسماك الدانيو التي تعاني من طفرات (شكل 1C, 1D) تكون لديها نقوش على شكل بقع أو متاهات.

الجينات (Genes)

هي التعليمات البيولوجية التي يرثها الحيوان من الوالدين لتحديد خصائصه (مثل شكل النقوش على الجلد أو لون العينين).

الآن دور الرياضيات التطبيقية

يجتهد العلماء لاكتشاف شكل سلوك الخلايا السوداء والصفراء لدى أسماك الدانيو العادية، ولمعرفة كيفية تغيّر سلوك هذه الخلايا لدى الأسماك التي تعاني من طفرات [2, 9]. وبالنسبة لعلماء الرياضيات الذين يدرسون أسماك الدانيو المخطط، تقوم مهمتهم على دراسة نقوش جلد هذه الأسماك (مثل الخطوط) ثم التوصل إلى القواعد التي تنشأ عنها هذه النقوش [7, 8]، وهذه مهمة ليست سهلة. كيف يمكن تغيير قاعدة "اختلاف جانب واحد وتماثل ما تبقى من الجوانب" لتكوين سمكة بنقوش صفراء بالكامل؟ ما القواعد والأسس التي تؤدي إلى خطوط قُطرية؟ عند العمل على حل هذه الأسئلة، تؤدي دور عالم الرياضيات بنفسك. فما نقوش جلد الأسماك التي يمكنك تكوينها باستخدام الرياضيات؟

إقرار

تلقّت AV الدعم جزئيًا من مؤسسة العلوم الوطنية من خلال المنحة رقم DMS-1764421 ومؤسسة سيمونز لمبادرة أبحاث التوحد من خلال المنحة رقم 597491-RWC. نتوجّه بخالص الامتنان إلى جيثين جورج وكاتلين جوي ليسمان ونيال مانجان وساشا شيرمان بسبب ملاحظاتهم المفيدة حول هذا المقال، كما يتوجّه BS بالشكر لساشا على تقديم اقتراحات بشأن JavaScript. نشكر أيضًا دومينيكو بولارا ويانيك دي ديكر على نشر رمز JavaScript كجزء من مرجع رقم [7]، فقد استلهمنا منه الرمز الذي طورناه لموقعنا الإلكتروني.

مواد إضافية

https://simulatingzebrafish.gitlab.io/zebrafish-outreach/

المراجع

1. Frohnhöfer, H. G., Krauss, J., Maischein, H. M., and Nüsslein-Volhard, C. 2013. Iridophores and their interactions with other chromatophores are required for stripe formation in zebrafish. *Development*. 140:2997–3007. doi: 10.1242/dev.096719
2. Irion, U., and Nüsslein-Volhard, C. 2019. The identification of genes involved in the evolution of color patterns in fish. *Curr. Opin. Genet. Dev*. 57:31–8. doi: 10.1016/j.gde.2019.07.002
3. Singh, A. P., and Nüsslein-Volhard, C. 2015. Zebrafish stripes as a model for vertebrate colour pattern formation. *Curr. Biol*. 25, R81–R92. doi: 10.1016/j.cub.2014.11.013
4. Salis, P., Lorin, T., Lewis, V., Rey, C., Marcionetti, A., Escande, M. L., et al. 2019. Developmental and comparative transcriptomic identification of iridophore contribution to white barring in clownfish. *Pigment Cell Melanoma Res*. 32:391–402. doi: 10.1111/pcmr.12766
5. Yamaguchi, M., Yoshimoto, E., and Kondo, S. 2007. Pattern regulation in the stripe of zebrafish suggests an underlying dynamic and autonomous mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A*. 104:4790–93. doi: 10.1073/pnas.0607790104
6. Yamanaka, H., and Kondo, S. 2014. *In vitro* analysis suggests that difference in cell movement during direct interaction can generate various pigment patterns *in vivo*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A*. 111:1867–72. doi: 10.1073/pnas.1315416111
7. Bullara, D., and De Decker, Y. 2015. Pigment cell movement is not required for generation of Turing patterns in zebrafish skin. *Nat. Commun*. 6:6971. doi: 10.1038/ncomms7971
8. Volkening, A., and Sandstede, B. 2018. Iridophores as a source of robustness in zebrafish stripes and variability in *Danio* patterns. *Nat. Commun*. 9:3231. doi: 10.1038/s41467-018-05629-z
9. Patterson, L. B., and Parichy, D. M. 2019. Zebrafish pigment pattern formation: insights into the development and evolution of adult form. *Annu. Rev. Genet*. 53:505–30. doi: 10.1146/annurev-genet-112618-043741

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 20 نوفمبر 2023

المحرر: Jeremy L. Martin

مرشدو العلوم: Abraham Pascoe و Shira Viel

الاقتباس: Volkening A و Shirman B (2023) ما علاقة جلد السمكة بالرياضيات؟ Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2022.834049-ar

مُترجَم ومقتبس من: Shirman B and Volkening A (2022) What Does Math Have to Do With Patterns in Fish? Front. Young Minds 10:834049. doi: 10.3389/frym.2022.834049

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2022 Volkening و 2023 Shirman. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

FELIX, العمر: 10
أحب الكيمياء والفيزياء النووية وفيزياء الكم والفضاء والمعلومات العامة والأحياء والجراثيم. من هواياتي السباحة ولعبة المطاردة والمشي لمسافات طويلة، وأنا من كبار المعجبين بلعبة دانجنز آند دراجونز.

LORELEI, العمر: 12
أدرس في المرحلة الإعدادية وأحب التزلج بحذاء العجلات والرسم وتدليل قططي.

MIRA, العمر: 8
أنا في الصف الثالث وتعجبني القصص المصورة وأحب الحيوانات (والأسماك أكلتي المفضلة 🐠).

المؤلفون

BLAKE SHIRMAN

طالب الماجستير بجامعة دي بول، ويأمل أن يحصل يومًا ما على درجة الدكتوراة في الرياضيات البحتة. يقضي وقته في مطالعة الألعاب والألغاز المنطقية لمعرفة إذا كانت الرياضيات قادرة على تسهيل الأشياء بطرق مرحة وغير متوقعة أحيانًا. ومن ألغازه المفضلة محاولة توقع شكل نقوش الخلايا (مثل كيفية وضع قطع الشطرنج على لوحة مع اتباع قواعد معينة بشأن كيفية تحركها). وبعد لقاء الأستاذة أليكساندريا، أدرك بلايك أخيرًا أنه يتم استخدام مخططات مماثلة لهذا المخطط لوصف الخطوط والبقع النابضة بالحياة على جلد العديد من الأسماك.

ALEXANDRIA VOLKENING

أستاذة مساعدة في قسم الرياضيات بجامعة بيردو، وقد حصلت على درجة الدكتوراه في الرياضيات التطبيقية من جامعة براون. تدرس العديد من الأشياء باستخدام الرياضيات، مثل نقوش جلد أسماك الدانيو بالطبع، وكذلك الانتخابات السياسية ووسائل التواصل الاجتماعي وحشود البشر، فقد تبين أن العديد من الأشياء تتبع قواعد سلوكية يمكن وصفها رياضيًا. أسماك الدانيو المخطط هي المفضلة لها في المحاكاة (حتى الآن)، ولكن السلمون هي وجبتها المفضلة. ولأنها لا تقتني في منزلها أي أسماك دانيو، فهي تستمتع دومًا بزيارة مختبرات زملائها من علماء الأحياء لرؤية هذه الأسماك. avolkening@purdue.edu*

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology