

أربع من بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين تحيط بها خلايا الدم البيضاء البشرية المرجع: معهد الولايات المتحدة الوطني للحساسية والأمراض المعدية

مقاومة مضادات الميكروبات: استكشاف البعد البيئي

ما هي مقاومة مضادات الميكروبات؟

المقاومة المكتسبة من خلال طفرة في الحمض النووي للبكتيريا أو عن طريق اكتساب جينات المقاومة من خلال الانتقال الأفقي للجينات حين ينتقل الحمض النووي من أحد أنواع البكتيريا إلى آخر. وتمثل المقاومة المكتسبة التي تؤدي إلى فشل علاجات الإصابة في البيئات السريرية والبيطرية في الوقت الحالي مصدرًا للقلق.

إن العديد من المضادات الحيوية هي مواد طبيعية مثل البنسلين الأصلي الموجود في عفن الخبز، في حين أن العديد منها مركب أو معدّل كيميائياً من مضادات حيوية طبيعية لتحسين النشاط والاستقرار. وتعدّ المضادات الحيوية فئة فرعية من مضادات الميكروبات - وهي المواد التي تقتل أو تُثبِّط نمو الكائنات المجهرية. وكثيراً ما يستخدم المصطلحان للتعبير عن نفس المعنى.

وتحدث المنافسة دائماً بين الكائنات المجهرية عن طريق إنتاج جزيئات المضادات الحيوية لمنع كائنات مجهرية أخرى من الازدهار. ولكي تحافظ البكتيريا على بقائها، فقد طوّرت بنجاح آليات لمقاومة هجمات المضادات الحيوية. وتشير الأبحاث إلى أن مقاومة المضادات الحيوية، بما في ذلك بعض المضادات المستخدمة في الطب الحديث، موجودة منذ ملايين السنين، مما يشير إلى أن مقاومة المضادات الحيوية هي أمر طبيعي وقديم ومن الخصائص الثابتة في جينات الميكروبات^١.

طبقاً لمنظمة الصحة العالمية، فإننا قد نكون مقبلين على عصر ما بعد المضادات الحيوية حيث من الممكن أن تصبح إصابات بكتيرية بسيطة، كانت في الماضي قابلة للعلاج، قاتلة، وحيث يستحيل إجراء عمليات طبية روتينية، مثل تغيير المفاصل والعلاج الكيميائي، والتي تعتمد على العلاج الوقائي بالمضادات الحيوية^١. وقد قُدِّر تقرير أونيل لعام ٢٠١٤، الذي كلّفت به حكومة المملكة المتحدة أنّ الإصابة المقاومة لمضادات الميكروبات قد تصبح السبب الرئيسي في الوفاة على مستوى العالم بحلول عام ٢٠٥٠.

تستخدم المستحضرات الصيدلانية من المضادات الحيوية في شتى أنحاء العالم لمعالجة الإصابة البكتيرية والوقاية منها لدى البشر والحيوانات وحتى النباتات. كما استُخدمت على نطاق واسع كعمززات للنمو لزيادة إنتاج الحوم، على الرغم من خطّر هذه الممارسة في الاتحاد الأوروبي في عام ٢٠٠٦^٢؛ ورغم الربط بين إساءة استخدام المضادات الحيوية في الممارسات الطبية والزراعية وبين زيادة المقاومة، إلا أن دور البيئة الطبيعية في ظهور المقاومة وانتشارها حظي باهتمام محدود نسبياً. يمكن أن تكون مقاومة مضادات الميكروبات طبيعية أو مكتسبة. ويمكن أن تحدث



ما هي المادة المقاومة للميكروبات؟

أي مادة من أصول طبيعية أو نصف مخلقة أو مخلقة تنتقل أو تثبت نمو الكائنات المجهرية مثل البكتيريا والفيروسات والكائنات الأولية والفطريات. تُستخدم المواد المضادة للميكروبات في صورة أدوية من المستحضرات الصيدلانية مثل المضادات الحيوية ومضادات الفيروسات ومضادات الفطريات أو في صورة مواد كيميائية مثل المطهرات ومبيدات الجراثيم والمُعقّمات.

ما هو المضاد الحيوي؟

تنتج البكتيريا أو الفطريات المواد المقاومة للميكروبات بصورة طبيعية والتي يمكن أن تقتل الكائنات المجهرية الأخرى أو أن تكبح نموها. يستخدم الناس أنواعًا كثيرة من المضادات الحيوية كأدوية للوقاية من العدوى التي تنقلها البكتيريا المسببة للمرض والفطريات وبعض الطفيليات، ولعلاج هذه العدوى. وتُستخدم أغلبية المضادات الحيوية ضد البكتيريا بصفة أساسية.

نظرًا لأن المضادات الحيوية هي نوع من أنواع مضادات الميكروبات، فإن المصطلحين يستخدمان عادةً للتعبير عن نفس المعنى.

ما هي مقاومة مضادات الميكروبات؟

تحدث مقاومة مضادات الميكروبات حين تتطور الكائنات المجهرية لتقاوم آثار عامل مضاد للميكروبات وتتكاثر في وجوده. على مستوى العالم، يموت حوالي ٧٠٠ ألف شخص بسبب الإصابة بالمقاومة كل عام نظرًا لأن الأدوية المتاحة المضادة للميكروبات أصبحت أقل فاعلية في قتل مسببات الأمراض المقاومة.

ما هو الانتقاء من أجل المقاومة؟

الانتقاء الطبيعي عبارة عن آلية تؤدي إلى تكيف الكائنات لتحسن من بقائها في بيئتها لكي تزدهر وتتكاثر. في سياق مقاومة مضادات الميكروبات، تبذل المواد المضادة للميكروبات ضغطًا على الميكروبات يؤدي إلى تطور المقاومة. تنجو الميكروبات التي تتمتع من مقاومة آثار مضادات الميكروبات وتتكاثر، في حين تقتل الأضعف منها أو يُعاق نموها. ويزيد الإفراط في استخدام المضادات الحيوية أو سوء استخدامها من الانتقاء على أساس مقاومة المضادات الحيوية بين البكتيريا.

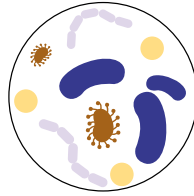
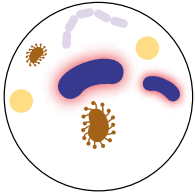
بدون تدخل بشري، يحدث انتقاء المقاومة بالفعل بصورة طبيعية في الكائنات الميكروبية في التربة والمياه وغيرها من الموائل. ولكن الاستخدام الحالي للمضادات الحيوية بكميات تصل إلى مئات الآلاف من الأطنان سنويًا وما يلي ذلك من انبعاث بقايا المضادات الحيوية إلى البيئة يؤدي إلى تغيرٍ حاد في قيمة ضغوط الانتقاء التي تؤدي إلى زيادة في البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية.^٧ وبمجرد استهلاكها، يتم طرح أدوية المضادات الحيوية بدون تمثيل غذائي، جنبًا إلى جنب مع البكتيريا المقاومة. ويمكن بعد ذلك أن تمرّ إما من خلال أنظمة الصرف الصحي أو بطريقة مباشرة أكثر إلى المياه والتربة، وأن تختلط بالبكتيريا الموجودة في البيئة في وجود ملوثات أخرى قد تصيف المزيد من الضغط للمساعدة على اختيار المقاومة للمضادات الحيوية، بصورة مباشرة أو غير مباشرة. ويخضع مدى ما تُسهّم به البيئة في هذه المشكلة لفحص مكثف، ولكن الإجابات سوف تعتمد جزئيًا على مستوى التلوث البيئي، وطول الفترة التي تقضيها البقايا المضادة للميكروبات في حالة نشطة.

تمتلك البكتيريا في المياه والتربة تنوعًا هائلًا من الجينات المقاومة. وقد وجدت الأبحاث أن مسببات الأمراض التي كانت في الماضي سريعة التأثير تستطيع اكتساب جينات المقاومة من البكتيريا الموجودة في البيئة.^{٨-١١} وتُعدّ الأسس الجينية لمقاومة المضادات الحيوية في البكتيريا وكيف يمكن للمقاومة أن تنتشر ما بين البيئة والعيادات الطبية موضوعات تحظى باهتمام هائل في الوقت الحالي.^{١١-١٢}

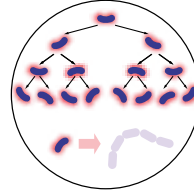
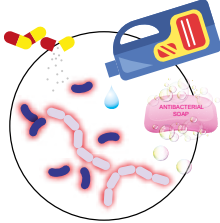
يمكن أن يحصل التعرض البشري للبكتيريا البيئية وجينات مقاومة المضادات الحيوية من خلال مياه الشرب أو استهلاك الأطعمة أو من خلال الاحتكاك المباشر مع البيئة. وهناك مسألة أخرى تتمثل في مدى انتشار البكتيريا المقاومة من خلال سلسلة الطعام أو من خلال الاتصال المباشر مع البيئة. على سبيل المثال، بيّنت الأبحاث أنه حتى في ظل مستويات الاستثمار المرتفعة في معالجة مياه الصرف، فهناك ما يقدر بـ ٦ ملايين من أحداث التعرض التي تحصل لنوع واحد من الإيكولا المضادة للمضادات الحيوية في كل عام في المياه الساحلية الترفيهية في المملكة المتحدة.^{١٤} وهناك حالات موثقة جيدًا لتطور البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية داخل الحيوانات التي تستخدم كغذاء، وانتشارها بعد ذلك لدى البشر.^{١٥}

المضادات الحيوية وعوامل الانتقاء المشاركة والبكتيريا المقاومة في البيئة

الانتقاء الطبيعي ومقاومة المضادات الحيوية



في عالم الميكروبات، دائماً ما تحدث المنافسة بين الكائنات العضوية من خلال إنتاج جزيئات مضادة حيويًا لمنع غيرها من الإزدهار. وتنفى الكائنات العضوية المعرضة للخطر. ولكن يُعرف عن البكتيريا والفطريات تطويرها لآلية لمقاومة هجوم المضادات الحيوية وللبقاء، أو بمعنى آخر، يُصبح لديها مناعة ضد المضادات الحيوية.



يُمكن للجينات المقاومة أن تنتقل إلى الجيل التالي، وحتى بين البكتيريا غير المتصلة ببعضها عن طريق نقل الجينات الأفقي. إن الاستخدام المفرط وسوء استخدام العقاقير المضادة حيويًا إلى جانب التعرض المتزايد للمواد المضادة للميكروبات في البيئة يعمل على زيادة انتقاء المناعة تجاه المضادات الحيوية بين البكتيريا.

مقطع فيديو: المضادات الحيوية والبيئة: الأزمة الصامتة



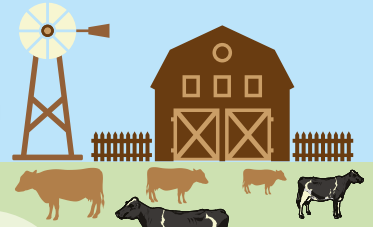
يمكن أن يؤدي تفريغ المضادات الحيوية وغيرها من المركبات المضادة للميكروبات، مثل المطهرات والمعادن الثقيلة، في البيئات الطبيعية إلى تطور البكتيريا المقاومة. توجد هذه المركبات في المياه والتربة بنطاقات واسعة من التركيز، طبقاً للمصدر والسلوك من ناحية معدل التحلل والامتصاص في المواد الصلبة.^{١٧،١٨} وتحتوي مياه الصرف في البلديات على مجموعة كبيرة من الملوثات: المستحضرات الصيدلانية ومنتجات العناية الشخصية من المنازل، ونفايات المستشفيات ذات التركيزات العالية من المضادات الحيوية والمُعَمَّات ومركبات من الأنشطة الصناعية بما في ذلك المعادن الثقيلة. تصرف بعض منشآت إنتاج المستحضرات الصيدلانية كميات كبيرة جداً من المضادات الحيوية مباشرة إلى البيئة، مما يؤدي إلى تركيزات تصل إلى ما يُستخدم لمعالجة الإصابات في البشر أو تتجاوزها.^{١٩،٢٠} ويُعد مستوى المقاومة المرتفع الموجود بالقرب من المنشأة دليلاً قاطعاً على أنَّ الانتقاء بالنسبة لمقاومة المضادات الحيوية يحدث في البيئات الملوثة.^{٢٠} ولكن تركيزات المضادات الحيوية في معظم النفايات السائلة والمياه السطحية وبيئات التربة يمكن أن تكون أقل بمقدار ١٠٠٠ مرة من المستويات المستخدمة في العيادات أو في النفايات الصناعية السائلة غير المعالجة.^{٢١} إن التلوث منخفض التركيز هو المهم بصفة خاصة - لأنَّ التركيز أقل بكثير من أن يقتل البكتيريا التي تتعرض له، ولكنه يكفي لانتقالها للمقاومة.^{٢١} وتتمثل المسألة في العتية التي لا يكون فيها للمضادات الحيوية أثر انتقائي على المجتمعات الميكروبية. عند مستوى تركيز المضادات الحيوية المنخفض، قد يعتمد اكتساب المقاومة أكثر على انتقال الجين من كائن بكتيري آخر، وهو ما يُعرف باسم الانتقال الأفقي للجينات. ولذلك فإنه من غير المحتمل أن تغطي دراسات البكتيريا التي تُجرى على نوع واحد على ألواح آغار فهماً مُجدياً بشأن تطور المقاومة في المجتمعات الميكروبية المعقدة الموجودة في البيئة الطبيعية.

تعتمد التركيزات في مياه الأنهار على منشآت معالجة مياه الصرف بالإضافة إلى استخدام المضادات الحيوية لدى السكان الذين تخدمهم. تُصمَّم محطات المعالجة بوجه عام لإزالة الملوثات التقليدية مثل المواد المغذية والمواد العضوية والمواد الصلبة المعلقة ومسببات الأمراض إلى حد ما، ولكن ليس لإزالة المضادات الحيوية.^{٢٢} وقد تحتوي أيضًا النفايات الزراعية مثل روث الحيوانات على تركيزات من المضادات الحيوية تبلغ نفس الفعالية المستخدمة لمعالجة الإصابات. ولكن، بعد الامتزاز في جزيئات التربة، يُبطل مفعول بعض المضادات الحيوية، في حين يبقى البعض الآخر نشطاً ويبدل ضغطاً انتقائياً على البكتيريا الموجودة في التربة.^{٢٣} ويُعتبر توليد بيانات زمنية ومكانية موثوقة بشأن تعرض المجتمعات الميكروبية لبقايا المضادات الحيوية في التربة والمياه أمراً حيويًا لفهم مدى الانتقاء الذي يحدث في البيئات الطبيعية بصورة أفضل.^{٢٤،٢٥} وتتعدَّد المسألة أكثر بفعل الخلط بين بقايا المضادات الحيوية والملوثات الأخرى، والتي يمكن أن تتحد لتُنتج ضغوط انتقائية زائدة بالمقارنة بالمواد المنفردة.^{٢٦} وتتراكم الأدلة على الانتقاء غير المباشر أو الانتقاء المشترك لمقاومة المضادات الحيوية للمعادن الثقيلة مثل الفضة والكاديوم والنحاس والزنك وللمركبات ذات الخصائص المضادة للميكروبات مثل المُعَمَّات والمبيدات الحشرية.^{٢٦-٣٠} وتُعدُّ المعادن الثقيلة واسعة الانتشار في البيئات الزراعية والصناعية والحضرية. لذلك من المحتمل أن تتزايد مقاومة مضادات الميكروبات في البكتيريا المعرضة حتى حين يغيب الضغط الانتقائي المباشر من المضادات الحيوية.

مقاومة مضادات الميكروبات والبيئة

تعدّ البيئة عاملاً أساسياً في مقاومة المضادات الحيوية، وتستطيع البكتيريا الموجودة في التربة، والأنهار ومياه البحر تطوير مقاومتها من خلال التلامس مع البكتيريا المقاومة. المضادات الحيوية والمطهرات الناجمة عن النشاط البشري. وحينها قد يصبح البشر والمواشي عرضةً للمزيد من البكتيريا المقاومة من خلال الغذاء والماء والهواء.

قفز
الاستخدام
البشري لمضادات
الميكروبات بمعدل
٣٦٪ خلال العقد الأول
من القرن الحالي.



تُستخدم مضادات البكتيريا بصورة متزايدة لزيادة نمو الحيوانات في الزراعة الكثيفة وخصوصاً في البلدان النامية.

سوف يقفز استخدام
المضادات البكتيرية
للمواشي بمعدل ٦٧٪
بحلول عام ٢٠١٣.

تتسبب الأسمدة الحيوانية بتلوث المجاري السطحية، والمياه الجوفية وشبكات الصرف الصحي.

٧٠٪ من
المضادات
الحيوية تُستخدم
مع الحيوانات.

قد تضيق نسبة
تصل إلى ٧٥٪ من
المضادات الحيوية المستخدمة
في تربية الأحياء المائية
داخل البيئة المحيطة.

يمكن امتصاص المضادات
الحيوية من قِبل النباتات
والمحاصيل.



تحتوي تدفقات
النفايات الرنيسية بما في
ذلك المياه العادمة والأسمدة
الحيوانية والصرف الزراعي على
بقايا المضادات الحيوية والبكتيريا
المقاومة للمضادات الحيوية.

قد توجد البكتيريا المقاومة للمضادات
الحيوية في مصادر المياه الخام ومياه
الشرب المعالجة.

٣٠٪ من
المضادات الحيوية
تُستخدم من
قِبل البشر.

يُفترَض ما يصل إلى
٨٠٪ من المضادات
الحيوية المُستهلكة من
خلال البول والبراز.

ليس بإمكان محطات معالجة
المياه العادمة التخلص من
جميع المضادات الحيوية
والبكتيريا المقاومة.



تزيد
مجموعة واسعة من
الملوثات الموجودة في
المياه العادمة البلدية والصناعية
من الضغط على البكتيريا لتصبح
بكتيريا مقاومة.

إن تركيزات المضادات
البكتيرية في معظم النفايات السائلة
أقل من أن تكون مميتة حال
التعرض للبكتيريا، ولكنها قد تكون
كافية لتحفيز المقاومة البكتيرية.

يُنْتَهِي المطاف بما
يربو على ٥٠٪ من
النفايات البلدية الصلبة في
مطامر القمامة والمقالب المكشوفة.
وربما تحتوي هذه النفايات على
أدوية غير مستعملة أو
منتجتها الصلاحية.

يشجع انتشار
البكتيريا المقاومة للأدوية
المتعددة في المياه البحرية والترسبات
على مقربة من نقاط تصريف
الاستزراع المائي ونقاط التصريف
الصناعي والبلدي.



مقطع فيديو: مقاومة البكتيريا وأثرها على الصحة



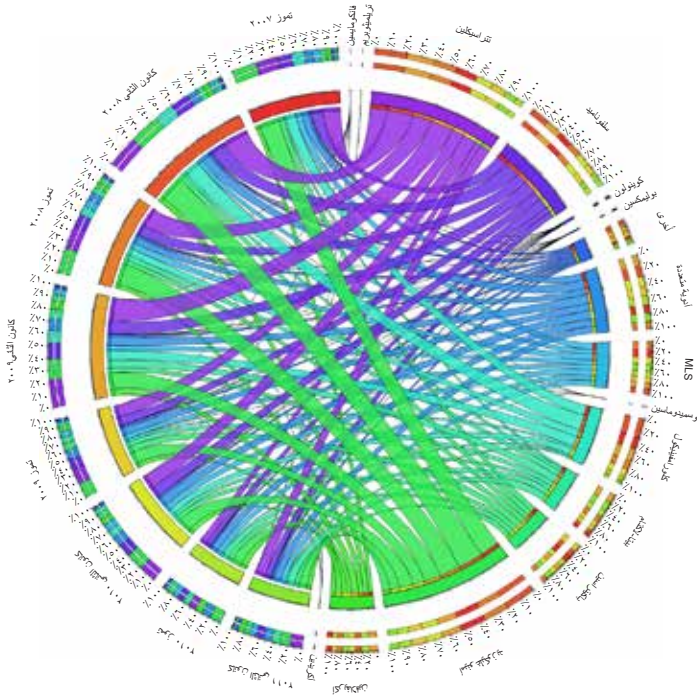
© جامعة إكسبر

<https://www.youtube.com/watch?v=eDhhv31vuV8>

مرجع الصورة: جيمس غاتاني

نظراً لأن المضادات الحيوية والبكتيريا المضادة للمقاومات الحيوية يأتيان من نفس المصدر، فإنهما عادة ما يوجدان معاً. كذلك تحتوي تدفقات النفايات الرئيسية بما في ذلك مياه الصرف وروث الحيوانات وصرف الزراعة على بكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية. ومن المحتمل أن يكون تفرغ مياه الصرف الصحي غير المعالجة أحد عوامل الدفع المؤدية إلى زيادة مقاومة المضادات الحيوية في البيئة، ولكنها مشكلة يُمثل حلها تحدياً كبيراً. حتى في البلدان ذات الاستثمارات الكبيرة في مجال معالجة مياه الصرف واستراتيجيات الإدارة الرامية لخفض التلوث المائي الناتج عن الزراعة، هناك تفاوتات كبيرة في أعداد البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية التي لا تزال توجد داخل مصائد الأسماك النهرية. وقد وُجِدَت نتائج متعارضة تتعلق بقدرة معالجة مياه الصرف على خفض كمية البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية في النفايات السائلة، حيث تُبَيِّن بعض الدراسات فاعلية الإزالة بينما خلص البعض الآخر إلى زيادة أعداد البكتيريا المقاومة في النفايات السائلة بالمقارنة بالتدفق الداخل.^{٣٣} وتشير هذه النتائج الأخيرة إلى أن محطات معالجة مياه الصرف قد تمثل نقاطاً ساخنة لانتقال الجينات أفقياً نظراً لارتفاع كثافة البكتيريا وزيادة المواد المغذية.^{٣١،٣٢} ولذلك فإن مياه الصرف وحماة مياه المجاري تُعد أدوات استطلاع هامة، تتيح تقييم مدى وفرة البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية وجينات المقاومة لدى البشر.^{٣٣،٣٤}

وفرة جينات مقاومة المضادات الحيوية في الحماة المُنشطة من محطة شاتين لمعالجة مياه الصرف في هونغ كونغ، الصين، ٢٠٠٧-٢٠١١



إهداء من البروفيسور تونغ زانغ، جامعة هونغ كونغ

انظر أيضاً بانغ وآخرون (٢٠١٣) ٣٣

تُبيِّن الخطوط المتقاطعة وفرة جينات المقاومة في ثمان عينات مأخوذة من الحماة. وكلما زادت سماكة الخط، زادت وفرة فئة الجينات المقاومة. على سبيل المثال، الجينات المقاومة للغليكوزيدات الأمينية والنتراسيكلين هي أكثر الأنواع السائدة المُكتشفة في جميع العينات.

التخفيف من تفرغ مضادات الميكروبات في البيئة

الانتقاء المشترك لمقاومة المضادات الحيوية والمعادن والمبيدات الحشرية



مقطع فيديو: لماذا فرضت إدارة الغذاء والدواء حظرًا على الصابون المضاد للبكتيريا؟



© SciShow

الرابط: www.youtube.com/watch?v=9dExiRwh-DQ
مرجع الصورة: غلوشكو سيرجي Shutterstock.com

اتسمت السياسات التنظيمية الحالية بالبطء في النظر بصورة مناسبة إلى مسألة تفرغ المضادات الحيوية والبكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية. أدى الوعي المتزايد بالقدرة المحتملة لبقايا المضادات الحيوية على إتلاف الكائنات المائية إلى إدراج ثلاثة من مركبات المضادات الحيوية على قائمة مراقبة الاتحاد الأوروبي لملوثات المياه الناشئة في عام ٢٠١٥. وهناك مبادرات طوعية لخفض تركيزات النفايات السائلة من المضادات الحيوية من قبل بعض مُصنعي الأدوية. في أيلول/سبتمبر ٢٠١٦ وقّع العديد من شركات المستحضرات الصيدلانية الرائدة على خارطة طريق لمقاومة مضادات الميكروبات قُدّمت إلى الأمم المتحدة تشمل الإدارة البيئية للإنتاج المرتبط بالمضادات الحيوية كموضوع محوري.^{٣٦}

وقد مُنعت بعض المركبات المشاركة في الانتقاء مثل التريكلوسان، والمستخدم في نطاق واسع من المنتجات الاستهلاكية، أو قُيدت في أسواق عديدة. وقد فرضت رابطة أمم جنوب شرق آسيا قيوداً على الحد الأقصى لتركيز التريكلوسان في مستحضرات التجميل والعناية الشخصية.^{٣٧} وقد قضت إدارة الأغذية والعقاقير في الولايات المتحدة في عام ٢٠١٦ أن المنتجات المضادة للبكتيريا التي تباع دون وصفات طبية وتحتوي على التريكلوسان و١٨ مركباً آخر ينبغي ألا تُسوّق إذ اكتُشِف أنّ التعرض لهذه المكونات النشطة على المدى الطويل يمكن أن يسبب مخاطر صحية مثل مقاومة البكتيريا أو الآثار الهرمونية.^{٣٨}

يمكن لزيادة تنظيم المضادات الحيوية، والمركبات المشاركة في الانتقاء أن تكون بمثابة القوى الدافعة لتطوير حلول للتخفيف وخفض المخاطر وأن تحفّز المناقشات بشأن المسؤولية عن بقايا المضادات الحيوية وعن البكتيريا المقاومة التي تنشأ نتيجة لها. ويرى البعض أن مصنعي المضادات الحيوية والذين يصفونها للمرضى والمزارعين وحتى المرضى يتحملون بعض المسؤولية عن الآثار المدمرة لبقايا المضادات الحيوية التي تصل إلى البيئة. ويمكن أن يؤدي مثل هذا التغيير الكبير في الطريقة التي نتعامل بها مع مقاومة المضادات الحيوية، وبخاصة في سياق نهج "توحيد الأداء في مجال الصحة"، إلى تحويل حوافز خفض استخدام المضادات الحيوية وإلى تحسين ممارسات إدارة النفايات.

توجد بالفعل العديد من استراتيجيات التخفيف التي تخفض أو تزيل المضادات الحيوية والبكتيريا المقاومة من مسارات النفايات الداخلة إلى البيئة: معالجة مياه الصرف الثانوية والثالثية؛ الترشيح بالأغشية والأوزون الذي يزيل المضادات الحيوية والبكتيريا؛ وإزالة الإصابة عن طريق الأشعة فوق البنفسجية والمعالجة الحرارية، والتي تُعد أكثر فاعلية في إزالة البكتيريا القابلة للحياة. هناك بالفعل العديد من استراتيجيات التخفيف التي تخفض أو تزيل المضادات الحيوية والبكتيريا المقاومة من مسارات النفايات الداخلة إلى البيئة: معالجة مياه الصرف الثانوية والثالثية؛ الترشيح بالأغشية والأوزون الذي يزيل المضادات الحيوية والبكتيريا؛ وإزالة الإصابة عن طريق الأشعة فوق البنفسجية والمعالجة الحرارية، والتي تُعد أكثر فاعلية في إزالة البكتيريا القابلة للحياة. لهذه المقاربات مستويات متباينة من الفاعلية وبعضها يمكن أن يؤدي إلى عواقب غير مقصودة، مثل النواتج الثانوية السامة. كما يمكن أيضاً استخدام

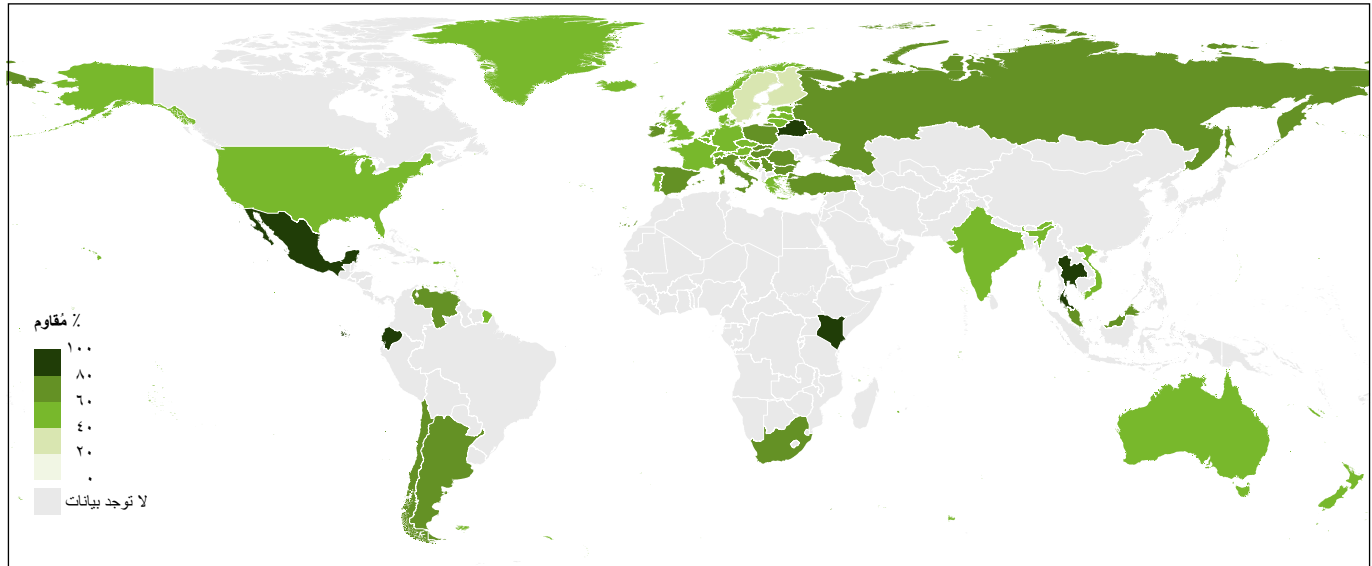
إلى الدرجة التي تجعلنا نأخر بالتأخر في تنظيم استخدام المضادات الحيوية وتنفيذ استراتيجيات التخفيف.

معالجة نفايات الحيوانات قبل وضعها على الأرض واستخدام الأساليب البسيطة لخفض التلوث المائي. وتعدّ العوائق التي تواجه هذه النهج مالية إلى حد كبير وترتبط بقدرة المجتمعات على التغيير أو رغبتها فيه. وهناك حاجة ملحة لفهم المخاطر التي تمثلها مقاومة مضادات الميكروبات على نحو أفضل في البيئة وتطوير تقنيات تخفيف مستدامة.

يقال إن تعقيد المشكلة شديد للغاية إلى درجة يصعب الوقوف عليها، بالنظر إلى احتمالية التفاعلات بين أعداد لا يمكن تخيلها من البكتيريا مع قدرة تبدو غير محدودة على نقل الجينات، وإلى الخلط المعقد من المركبات المسببة للانتقاء، وإلى تباين آليات بناء المقاومة^{٢٩} ومع وجود بيانات كافية، فإن هذا يبدو غير صحيح، ولكن السؤال يبقى ما إذا كان لدينا الوقت لنتنظر حتى يتم توليد بيانات كافية قبل اتخاذ القرارات.

إننا نعلم أنه حيثما يحدث النشاط الإنساني تظهر مستويات متزايدة من المضادات الحيوية ومقاومة المضادات الحيوية في البيئة. كما نعلم أن بعض المضادات الحيوية في الظروف المخبرية تؤدي إلى الانتقاء من أجل مقاومة المضادات الحيوية حتى عند التركيزات الموجودة في البيئة الطبيعية. كما نعلم أيضاً أن جينات المقاومة الهامة من الناحية الإكلينيكية والتي ظهرت مؤخراً في مسببات الأمراض جاءت في الأصل من بكتيريا موجودة في البيئة الطبيعية. هناك بيانات متاحة بالفعل تُبين أن الانتقال يحتمل أن يحدث عن طريق سلسلة الغذاء ومن خلال التعرض للبيئات الملوثة. وكثيراً ما يكون هناك دعوة للقرارات القائمة على الأدلة، ولكن في مشكلة معقدة مثل مقاومة المضادات الحيوية، ما هو القدر الكافي من الأدلة؟ فقد يكون الحصول على أدلة كافية من النوع الذي تولده التجارب الإكلينيكية ضرباً من المستحيل أو مهمة تُمنل تحدياً

النسبة المئوية من الإشرىكية القولونية الغازية المعزولة المقاومة للأمينوبنسلين





الأبحاث المستقبلية والأنشطة التي تُرشِّد السياسات

توجد مقاومة مضادات الميكروبات بصورة متزايدة في مسببات الأمراض ذات الأهمية الإكلينيكية، ويزداد الإنتاج الحيواني بشدة استجابةً لزيادة الطلب، ويؤدي النمو السكاني والتوسع الحضري المتسارع إلى المزيد من التلوث. وتشير هذه الاتجاهات معاً إلى أن العمليات الدافعة إلى انتشار مقاومة المضادات الحيوية سوف تستمر خلال المستقبل المنظور، ما لم تتدخل إجراءات متضافرة ومُنسَّقة على المستوى العالمي. ومن المؤمل أن ندفعنا هذه الاتجاهات إلى إدارة القضية بصورة أفضل وإلى تمكين السياسات التي تأخذ الأدوار الحاسمة للبيئة الطبيعية في الاعتبار.

قد تتضمن التدابير الاحتياطية خفض الانبعاث الكلي للمضادات الحيوية، والمركبات المشاركة في الانتقاء إلى البيئة من خلال المزيد من الاستخدام الرشيد والخاضع للمراقبة بالإضافة إلى معالجة الأماكن البالغة الأهمية مثل المستشفيات ومواقع إنتاج الأدوية ومحطات معالجة مياه الصرف والمصادر الزراعية من خلال تحسين الصرف الصحي وإدارة مياه الصرف. وتتضمن الاحتياطات الأخرى إنهاء استخدام المضادات الحيوية كمعززات للنمو في تربية الحيوانات، وخفض استخدام المنتجات المنزلية ومنتجات العناية الشخصية التي تحتوي على مواد مضادة للميكروبات إلى أقصى حدٍ ممكن وتشجيع الابتكارات التكنولوجية التي تضمن تحلل المضادات الحيوية المطورة حديثاً بسرعة بعد تقديمها لآثارها المفيدة.

يجب أن تستقي السياسات المسؤولة المعلومات من الأبحاث الأساسية في إسهام مضادات الميكروبات والتلوث الكيميائي المشترك في الانتقاء في البيئة الطبيعية في المستويات الإجمالية لمقاومة مضادات الميكروبات، بالإضافة إلى تطور المقاومة وانتقالها على سبيل المثال، تساعد الأبحاث التي تُجرى حول مصير بقايا المضادات الحيوية عند نقلها بالتربة الجاهزة التنظيمية في معرفة المضادات الحيوية التي تظل نشطة بيولوجياً - أي قادرة على ممارسة ضغوط انتقائية - وبالتالي تتطلب المزيد من الاهتمام^{٢٢} وبالمثل، فإن اكتشاف فهم لقدرات مضادات الميكروبات على انتقاء المقاومة في البيئات المائية يمكن أن يساعدنا في تصميم تدابير تنظيمية أكثر فاعلية واستراتيجيات لإدارة مياه الصرف استناداً إلى الآثار الانتقائية، بدلاً من تركيز الصرف. وبعد نشر النتائج إلى جمهور أوسع ذا أهمية بالغة في زيادة الوعي بالقضية بين الجمهور وصانعي السياسات وزعماء المجتمع المحلي.

حين يفشل العلاج بالمضادات الحيوية نتيجة المقاومة، فإن الاستجابة تكون عن طريق استخدام المزيد من المضادات الحيوية. وقد أدى هذا إلى الإفراط في الاستخدام وإدامة الطلب على مضادات حيوية جديدة لاستبدال تلك التي لم تعد فعالة. حين يواجه الأطباء والأطباء البيطريون مرضى مصابين بالعدوى يمكن أن يستفيدوا من العلاج بالمضادات الحيوية، فإن القلق بشأن مقاومة مضادات الميكروبات في البيئة الطبيعية لا يمثل أولوية ضمن مخاوفهم. وعلى الرغم من ذلك، يجب منع المضادات الحيوية القابلة للاستمرار، والمركبات التي تساعد في الانتقاء والبكتيريا المقاومة من دخول البيئة الطبيعية حيث يمكن أن تؤدي إلى ظهور جينات مقاومة جديدة. بدون وقاية، سوف نكون عُرضةً لمخاطر مباشرة وكبيرة تتعلق بالتعرض لمخزونات البيئة من مسببات الأمراض المقاومة لمضادات الميكروبات.

الترحيب بمشاركة المواطنين في رصد المواد المضادة للميكروبات في البيئة

لخفض حدوث المزيد من مقاومة مضادات الميكروبات، يحتاج الباحثون إلى فهم كيفية تعرُّض البكتيريا لمقاومة مضادات الميكروبات والمركبات التي تساعد في الانتقاء في بيئات متباينة وكيف يتطور مثل هذا التعرض حتى ظهور المقاومة وانتشارها. وتعود العديد من التحديات - مثل الوقت والموارد وقيود البيانات - قدرتنا على الإجابة على مثل هذه الأسئلة الأساسية.

ويمكن أن يكون طلب المساعدة من المجتمع المدني مُكملاً للقوى العاملة المهنية العلمية والفنية، وسوف يؤدي تضمين إسهاماتهم إلى جعلهم جزءاً من الحل بالإضافة إلى بناء الوعي. يمكن أن يُعالج إشراك مختلف أصحاب المصلحة عبر القطاعات فجوات البيانات وأن يوفر فرصاً لاكتساب فهم جديد. ويمكن أن يساعد العلماء على اكتشاف النقاط الساخنة للتلوث بمضادات الميكروبات، ورسم خرائط للأنماط وتحديد استراتيجيات التدخل.

على سبيل المثال، يمكن أن تحفِّز الأدوات المتاحة على شبكة الإنترنت المزارعين على إدخال بيانات بشأن أنواع المضادات الحيوية التي يستخدمونها وتوفير معلومات تتعلق بكيفية التخلص من المياه الملوثة بالمضادات الحيوية. يمكن للمستهلكين المهتمين إدخال بيانات بشأن استخدام المضادات الحيوية أو التخلص من الأدوية منتهية الصلاحية أو استخدام منتجات منزلية ذات خصائص مضادة للميكروبات. ويمكن لطلاب المدارس الثانوية جمع عينات التربة والمياه أو حتى عينات البراز من سلالات حيوانية ذات دلالة، لتحليلها في المشروعات التي يوجهها العلماء^{٢٣} ويمكن تصميم الحملات التي تستضيف فعاليات مسابقات مخصصة، تجنِّب المبرمجين للمساعدة في تطوير أدوات جديدة مثل تطبيقات الهواتف التعرف الكيميائي والتحليل الإحصائي للتركيزات والاتجاهات المتعلقة بالتوقيت.

1. Chan, M. (2011). World Health Day 2011: Combat drug resistance: no action today means no cure tomorrow, Statement by WHO Director-General, Dr Margaret Chan 6 April 2011. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2011/whd_20110407/en/
2. O'Neill Commission (2014). *Review on Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations*. Review on Antimicrobial Resistance, London. <https://amr-review.org/Publications.html>
3. Angelakis, E., Merhej, V. and Raoult D. (2013) Related actions of probiotics and antibiotics on gut microbiota and weight modification. *The Lancet Infectious Diseases*, 99-889 ,(10)13. https://www.researchgate.net/publication/257134399_Related_actions_of_probiotics_and_antibiotics_on_gut_microbiota_and_weight_modification
4. Cogliani, C., Goossens, H. and Greko, C. (2011). Restricting Antimicrobial Use in Food Animals: Lessons from Europe. *Microbe*, 279–274 ,(6)6. <https://louise.house.gov/sites/slaughter.house.gov/files/migrated/uploads/Cogliani202011%pdf>
5. O'Brien, J. and Wright, G.D. (2011). An ecological perspective of microbial secondary metabolism. *Current Opinion in Biotechnology*, 558-552 ,(4)22. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166911000620>
6. Bhullar, K., Waglechner, N., Pawlowski, A., Koteva, K., Banks, E.D., Johnston, M.D., Barton, H.A. and Wright, G.D. (2012). Antibiotic Resistance is Prevalent in an Isolated Cave Microbiome. *PLoS ONE*, 4(7), e34953. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0034953&type=printable>
7. Gaze, W.H., Zhang, L., Abdouslam, N.A., Hawkey, P.M., Calvo-Bado, L., Royle, J., Brown, H., Davis, S., Kay, P., Boxall, A.B.A. and Wellington, E.M.H. (2011). Impacts of anthropogenic activity on the ecology of class 1 integrons and integron-associated genes in the environment. *The International Society for Microbial Ecology*, 1261-1253 ,5. <https://www.nature.com/ismej/journal/v5/n8/full/ismej201115a.html>
8. Humeniuk, C., Arlet, G., Gautier, V., Grimont, P., Labia, R. and Philippon, A. (2002). Beta-lactamases of *Kluyvera ascorbata*, probable progenitors of some plasmid-encoded CTX-M types. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 3049-3045 ,(9)46. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC127423/pdf/0710.pdf>
9. Nordmann, P., Lartigue, M.F. and Poirel, L. (2008). Beta-lactam induction of ISEcp1B-mediated mobilization of the naturally occurring bla(CTX-M) beta-lactamase gene of *Kluyvera ascorbata*. *FEMS Microbiology Letter*, 249-247 ,288. <https://academic.oup.com/femsle/article-pdf/247-2-288/1415383/247/2/288.pdf>
10. Poirel, L., Rodriguez-Martinez, J.M., Mammeri, H., Liard, A. and Nordmann, P. (2005). Origin of plasmid-mediated quinolone resistance determinant QnrA. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 3525-3523 ,(8)49. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1196254/pdf/05-0337.pdf>
11. Wellington, E.M., Boxall, A.B., Cross, P., Feil, E.J., Gaze, W.H., Hawkey, P.M., Johnson-Rollings, A.S., Jones, D.L., Lee, N.M., Otten, W., Thomas, C.M. and Williams, A.P. (2013). The role of the natural environment in the emergence of antibiotic resistance in Gram-negative bacteria. *The Lancet Infectious Diseases*, 165-155 ,(2)13. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/laninf/PIIS1-70317\(12\)3099-1473.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/laninf/PIIS1-70317(12)3099-1473.pdf)
12. Ashbolt, N.J., Amezcuita, A., Backhaus, T., Borriello, P., Brandt, K.K., Collignon, P., Coors, A., Finley, R., Gaze, W.H., Heberer, T., Lawrence, J.R., Larsson, D.G.J., McEwen, S.A., Ryan, J.J., Schönfeld, J., Silley, P., Snape, J.R., Van den Eede, C. and Topp, E. (2013). Human Health Risk Assessment (HHRA) for environmental development and transfer of antibiotic resistance. *Environmental Health Perspectives*, 1001-993 ,(9)121. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/9/121/ehp.1206316.pdf>
13. Finley, R.L., Collignon, P., Larsson, D.G.J., McEwen, S.A., Li, X.Z., Gaze, W.H., Reid-Smith, R., Timinouni, M., Graham, D.W. and Topp, E. (2013). The scourge of antibiotic resistance: the important role of the environment. *Clinical Infectious Diseases*, 710-704 ,(5)57. <https://academic.oup.com/cid/article-pdf/885497/704/5/57/cit355.pdf>
14. Leonard, A.F., Zhang, L., Balfour, A.J., Garside, R. and Gaze, W.H. (2015). Human recreational exposure to antibiotic resistant bacteria in coastal bathing waters. *Environment International*, 100-92 ,82. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000409>
15. Price, L.B., Stegger, M., Hasman, H., Aziz, M., Larsen, J., Andersen, P.S., Pearson, T., Waters, A.E., Foster, J.T., Schupp, J., Gillece, J., Driebe, E., Liu, C.M., Springer, B., Zdovc, I., Battisti, A., Franco, A., Żmudzki, J., Schwarz, S., Butaye, P., Jouy, E., Pomba, C., Porrero, C., Ruimy, R., Smith, T.C., Robinson, A.D., Weese, J.S. Arriola, C.S., Yu, F., Laurent, F., Keim, P., Skov, R. and Aarestrup, F.M. (2012). *Staphylococcus aureus* CC398: Host adaptation and emergence of methicillin resistance in livestock. *mBio*, 1(3), e-00305e00311. <http://mbio.asm.org/content/1/3/e11-00305.full.pdf+html>
16. Kummerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part I. *Chemosphere*, 434-417 ,(4)75. https://www.researchgate.net/publication/284296697_Antibiotics_in_the_aquatic_environment_-_A_review
17. Kummerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part II. *Chemosphere*, 441-435 ,(4)75. https://www.researchgate.net/publication/23959090_Antibiotics_in_the_aquatic_environment_-_A_review_-_Part_II
18. Larsson, D.G.J. (2010). Release of active pharmaceutical ingredients from manufacturing sites – need for new management strategies. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 186-184 ,(1)6. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.20/epdf>
19. Larsson, D.G.J. (2014). Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 20130571 ,369. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/20130571/1656/369.full.pdf>
20. Rutgersson C., Fick, J., Marathe, N., Kristiansson, E., Janzon, A., Angelin, M., Johansson, A., Shouche, Y., Flach, C.F. and Larsson, D.G. (2014). Fluoroquinolones and qnr genes in sediment, water, soil, and human fecal flora in an environment polluted by manufacturing discharges. *Environmental Science & Technology*, 7832-7825 ,(14)48.

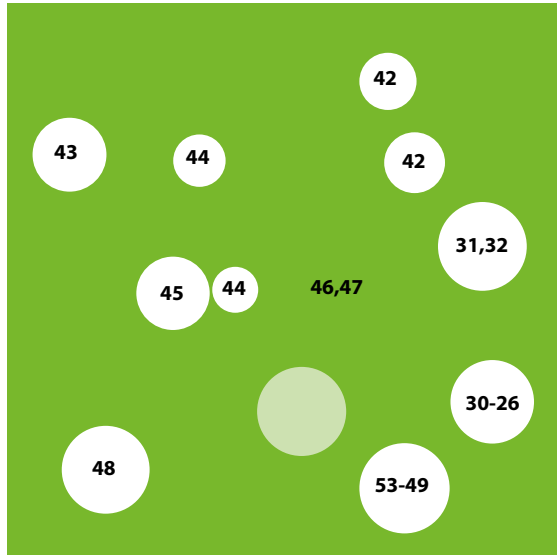


21. Gullberg, E., Cao, S., Berg, O.G., Illback, C., Sandegren, L., Hughes, D. and Andersson, D.I. (2011). Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. *PLoS Pathogens*, 7(7), e1002158. <http://journals.plos.org/plospathogens/article/file?id=10.1371/journal.ppat.1002158&type=printable>
22. Pruden, A., Larsson, D.G., Amezquita, A., Collignon, P., Brandt, K.K., Graham, D.W., Lazorchak, J.M., Suzuki, S., Silley, P., Snape, J.R., Topp, E., Zhang, T. and Zhu, Y.G. (2013). Management options for reducing the release of antibiotics and antibiotic resistance genes to the environment. *Environmental Health Perspectives*, 885-878, (8)121. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/8/121/ehp.1206446.pdf>
23. Subbiah, M., Mitchell, S.M., Ullman, J.L. and Call, D.R. (2011). β -Lactams and Florfenicol Antibiotics Remain Bioactive in Soils while Ciprofloxacin, Neomycin, and Tetracycline Are Neutralized. *Applied and Environmental Microbiology*, 7260-7255, (20)77. <http://aem.asm.org/content/72/5/20/77.full.pdf+html>
24. Berendonk, T.U., Manaia, C.M., Merlin, C., Fatta-Kassinos, D., Cytryn, E., Walsh, F., Burgmann, H., Sorum, H., Norstrom, M., Pons, M., Kreuzinger, N., Huovinen, P., Stefani, S., Schwartz, T., Kisand, V., Baquero, F. and Martinez, J.L. (2015). Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. *Nature Reviews Microbiology*, 317-310, 13. <https://www.nature.com/nrmicro/journal/v13/n5/full/nrmicro3439.html>
25. Boxall, A.B.A., Rudd, M.A., Brooks, B.W., Caldwell, D.J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J.P., Verslycke, T., Ankley, G.T., Beazley, K.F., Belanger, S.E., Berninger, J.P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P.C., Dyer, S.D., Ericson, J.F., Gagné, F., Giesy, J.P., Gouin, T., Hallstrom, L., Karlsson, M.V., Larsson, D.G.J., Lazorchak, J.M., Mastrococo, F., McLaughlin, A., McMaster, M.E., Meyerhoff, R.D., Moore, R., Parrott, J.L., Snape, J.R., Murray-Smith, R., Servos, M.R., Sibley, P.K., Straub, J.O., Szabo, N.D., Topp, E., Tetreault, G.R., Trudeau, V.L. and Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: what are the big questions? *Environmental Health Perspectives*, 1229-1221, (9)120. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3440110/pdf/ehp.1104477.pdf>
26. Gullberg E, Albrecht, L.M., Karlsson, C., Sandegren, L. and Andersson, D.I. (2014). Selection of a multidrug resistance plasmid by sublethal levels of antibiotics and heavy metals. *mBio*, 5(5), e14-01918. <http://mbio.asm.org/content/5/5/e14-01918.full.pdf+html>
27. Baker-Austin, C., Wright, M.S., Stepanauskas, R., McArthur, J.V. (2006). Co-selection of antibiotic and metal resistance. *Trends in Microbiology*, (4)14 182-176. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16537105>
28. Gaze, W.H., Zhang, L., Abdouslam, N.A., Hawkey, P.M., Calvo-Bado, L., Royle, J., Brown, H., Davis, S., Kay, P., Boxall, A.B.A. and Wellington, E.M. (2011). Impacts of anthropogenic activity on the ecology of class 1 integrons and integron-associated genes in the environment. *The ISME Journal*, 1261-1253, (8)5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21368907>
29. Wales, A.D. and Davies, R.H. (2015). Co-Selection of Resistance to Antibiotics, Biocides and Heavy Metals, and Its Relevance to Foodborne Pathogens. *Antibiotics*, 604-567, (4)4. <http://www.mdpi.com/2079-567/4/4/6382/pdf>
30. Seiler, C. and Berendonk, T.U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 399(3). <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2012.00399/full>
31. Stalder, T., Barraud, O., Casellas, M., Dagot, C. and Ploy, M-C. (2012). Integron involvement in environmental spread of antibiotic resistance. *Frontiers in Microbiology*, 119(3). <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2012.00119/full>
32. Tennstedt, T., Szczepanowski, R., Braun, S., Pühler, A. and Schlüter, A. (2003). Occurrence of integron-associated resistance gene cassettes located on antibiotic resistance plasmids isolated from a wastewater treatment plant. *FEMS Microbiology Ecology*, 252-239, (3)45. <https://academic.oup.com/femsec/article-pdf/239-3-45/18091371/239/3/45.pdf>
33. Yang, Y., Li, B., Ju, F. and Zhang, T. (2013). Exploring variation of antibiotic resistance genes in activated sludge over a four-year period through a metagenomic approach. *Environmental Science & Technology*, (18)47 10205-10197. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4017365>
34. Zhang, T. (2016). Antibiotics and resistance genes in wastewater treatment plants. *AMR Control*, 9 July 2016. <http://resistancecontrol.info/amr-in-food-water-and-the-environment/antibiotics-and-resistance-genes-in-wastewater-treatment-plants/>
35. EU JRC (2016). *First Watch List for emerging water pollutants*. The Joint Research Centre of the European Union. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/first-watch-list-emerging-water-pollutants>
36. IFPMA (2016). *Leading Pharmaceutical Companies Present Industry Roadmap to Combat Antimicrobial Resistance*. International Federation of Pharmaceutical Manufacturers & Association Press Release, 20 September 2016. <https://www.ifpma.org/resource-centre/leading-pharmaceutical-companies-present-industry-roadmap-to-combat-antimicrobial-resistance/>
37. ASEAN (2016). *Opinion on Triclosan in cosmetic products*. The Association of Southeast Asian Nations http://aseancosmetics.org/uploads/UserFiles/Opinion20%on20%Triclosan20%Feb_202016%.pdf
38. US-FDA. FDA issues final rule on safety and effectiveness of antibacterial soaps. United States Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/newsevents/newsroom/pressannouncements/ucm517478.htm>
39. Smith, D.L., Dushoff, J. and Morris, J.G. (2005). Agricultural antibiotics and human health. *PLoS Medicine*, 8(2), e232. <http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.0020232>
40. Macquarie University (2017). *Citizen scientists tackling antibiotic resistance one possum poop at a time*. *This Week*, 7 August 2017. Macquarie University, Sydney. <http://www.mq.edu.au/>

thisweek/07/08/2017/citizen-scientists-tackling-antibiotic-resistance-one-possum-poop-at-a-time

41. NSF (2017). RAISE: Neighborhood Environments as Socio-Techno-bio Systems. National Science Foundation's Awards website. https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1744724&HistoricalAwards=false

مراجع الرسم التوضيحي



42. Van Boeckel, T.P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B.T., Levin, S.A., Robinson, T.P., Teillant, A. and Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 5654–5649, (18)112. <http://www.pnas.org/content/5649/18/112.abstract>
43. Grigorakis, K. and Rigos, G. (2011). Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere*, 919-899, (6)85. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511008344?via3%DiHub>
44. O'Neill Commission (2015). *Antimicrobials in agriculture and the environment: Reducing unnecessary use and waste*. The Review on Antimicrobial Resistance, London. <https://amr-review.org/Publications.html>
45. Gothwal, R. and Shashidhar, T. (2014). Antibiotic Pollution in the Environment: A Review. *Clean Soil, Air, Water*, 1, 42–11. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201300989/abstract>
46. Bergeron, S., Boopathy, R., Nathaniel, R., Corbin, A. and LaFleur, G. (2015). Presence of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in raw source water and treated drinking water. *International*

Biodeterioration & Biodegradation, 374-370, 102. https://www.researchgate.net/publication/276075506_Presence_of_antibiotic_resistant_bacteria_and_antibiotic_resistance_genes_in_raw_source_water_and_treated_drinking_water

47. Jia, S., Shi, P., Hu, Q., Li, B., Zhang, T. and Zhang, X.X. (2015). Bacterial community shift drives antibiotic resistance promotion during drinking water chlorination. *Environmental Science & Technology*, -12271, (20)49 12279. https://www.researchgate.net/publication/282135668_Bacterial_Community_Shift_Drives_Antibiotic_Resistance_Promotion_during_Drinking_Water_Chlorination
48. Hoorweg, D. and Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management*. Urban development series; Knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/17388/10986>
49. Berglund, B. (2015). Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics. *Infection Ecology & Epidemiology*, 28564, 5. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3402/iee.v5.28564?needAccess=true>
50. Guyomard-Rabenirina, S., Dartron, C., Falord, M., Sadikalay, S., Ducat, C., Richard, V., Breurec, S., Gros, O. and Talarmin, A. (2017). Resistance to antimicrobial drugs in different surface waters and wastewaters of Guadeloupe. *PLoS ONE*, 3(12), e0173155. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0173155&type=printable>
51. Maloo, A., Borade, S., Dhawde, R., Gajbhiye, S.N. and Dastager, S.G. (2014). Occurrence and distribution of multiple antibiotic-resistant bacteria of Enterobacteriaceae family in waters of Veraval coast, India. *Environmental and Experimental Biology*, 50-43, 12. http://drs.nio.org/drs/bitstream/handle/4533/2264/Environ_Exp_Biol_43_12.pdf?sequence=1
52. Shah, S.Q.A., Cabello, F.C., L'Abée-Lund, T.M., Tomova, A., Godfrey, H.P., Buschman, A.H. and Sørum, H. (2014). Antimicrobial resistance and antimicrobial resistance genes in marine bacteria from salmon aquaculture and non-aquaculture sites. *Environmental Microbiology*, 1320-1310, (5)16. https://www.researchgate.net/publication/260681099_Antimicrobial_resistance_and_antimicrobial_resistance_genes_in_marine_bacteria_from_salmon_aquaculture_and_non-aquaculture_sites
53. Zhao, J.Y. and Dang, H. (2012). Coastal Seawater Bacteria Harbor a Large Reservoir of Plasmid-Mediated Quinolone Resistance Determinants in Jiaozhou Bay, China. *Microbial Ecology*, 199-187, 64. https://www.researchgate.net/publication/221754196_Coastal_Seawater_Bacteria_Harbor_a_Large_Reservoir_of_Plasmid-Mediated_Quinolone_Resistance_Determinants_in_Jiaozhou_Bay_China

◀ Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* bacteria being enveloped by a human white blood cell
Credit: US National Institute of Allergy and Infectious Diseases

