التنظيم الأزموزي والأيوني في الأسماك العظمية :

Osmoregulation

ماذا يقصد بالتنظيم الأزموزي Osmoregulation

يطلق على عملية السيطرة على الماء والأملاح في الجسم بعملية التنظيم الأزموزي وهذه العملية تختلف ما بين الأنواع المختلفة التي تتواجد في بيئات مختلفة وهذه الاختلافات تلاحظ بصورة أساسية في وظيفة الأنسجة والأعضاء التي لها علاقة بالمحافظة على مكونات السوائل الجسمية .

- وان المحافظة على التنظيم الأزموزي يتم بين السوائل الجسمية والبيئة الخارجية بواسطة عمليات فسلجية معقدة تشمل الخلية والأنسجة وأعضاء معينة لها علاقة بالتنظيم الأزموزي .
- كما أن داخل الجسم هناك سوائل داخل الخلايا التي تتخلف عن تلك السوائل التي تحيط بالخلايا من الخارج وتركيب كلا النوعين من السوائل يجب المحافظة عليه بتركيز أزموزي ملائم للحياة .
- وأن المحافظة على التنظيم الأزموزي بين السوائل داخل الخلية وخارجها يتم عبر غشاء الخلية حيث يتكون غشاء الخلية من بروتينات دهنية ذات سمك 75 أنكستروم وهو يحدد سير الحركة الأنتشارية للمواد الذائبة في السوائل خارج الخلية إلى الخلية .

- ان عدد المواد الذائبة في السوائل خارج وداخل الخلية تكون متساوية تقريبا إلا أن نسبة تواجد كل مادة في السائل تكون مختلفة تماماً. فمثلا في السائل خارج الخلية يكون تركيز أيونات الصوديوم والكلوريد والبيكاربونات والكاليسيوم عالية نسبياً وعلى العكس فأن تركيز أيونات البوتاسيوم والفوسفات والمغنسيوم في السائل داخل الخلية يكون عالياً نسبيا عند مقارنته بالسائل خارج الخلية .
- وهذا الفرق في التركيز سوف يولد فرق في الجهد الكهربائي على جانبي الغشاء يعمل على مساعدة أو منع الحركة الأنتشارية للمواد ذات الشحنة إلى داخل أو خارج جسم الخلية .

- **Euryhaline fish (أسماك واسعة التحمل الملحي):**

وهي تطلق على الأسماك التي تستطيع التأقلم على مدى واسع من التراكيز الملحية ، حيث تستطيع التأقلم مع التغيرات الخارجية في تركيز الأيونات بواسطة ميكانيكية التوازن. وهي تشمل الأسماك العائدة إلى العوائل التالية: عائلة الشانك وعائلة البياح وعائلة الشبوطيات .

- **Stenohaline fish (أسماك ضيقة التحمل الملحي):**
- وتشمل الأسماك التي لها قدرة محدودة على الإنتقال ما بين المياه العذبة والمياه المالحة ، حيث تمتلك حدود أزموزية ضيقة وبذلك تكون محددة في بيئة معينة . وتشمل أسماك الأنهار والبحار والبحيرات ويمكن تقسيمها إلى
- **Polystenohaline** :- التي تتأقلم لدرجات عالية من الملوحة كما في البحار المفتوحة.
- **Oligostenohaline** :- التي تتأقلم لدرجات واطئة من الملوحة التي تعيش في المياه العذبة.

كما تصنف الأسماك حسب تحملها للملوحة إلى

1- أسماك غير مهاجرة ما بين المياه العذبة والمالحة وتشمل :

- أسماك بحرية : ضيقة المدى الملحي (تعيش فقط في البيئة البحرية وتكون آلية التنظيم الأزموزي فيها قليلة) .
- أسماك مياه عذبة : ضيقة المدى الملحي (تتواجد في المياه العذبة فقط وتكون فعالية التنظيم الأزموزي فيها قليلة) .
- أسماك بحرية : واسعة التحمل الملحي ، معظمها يعيش في المناطق الساحلية أو قرب المصبات .
- أسماك مياه عذبة واسعة التحمل الملحي ، معظمها يعيش في البحيرات المالحة.

2- أسماك مهاجرة مابين المياه العذبة والمياه المالحة أو بالعكس ولهذه الأسماك قدرة تأقلم تختلف باختلاف مرحلة الحياة .

- كيف تتم عملية ضخ الأيونات عبر الغلاصم :-

يوجد تفسيرين لعملية التبادل الأيوني التي تتم عبر الغلاصم وهما :

- أولاً : تفسير **Maetz**
- ثانياً : تفسير **Kirschner**

اولا: يتعلق بالمضخات الأيونية أو يسمى بموديل خلية الكلوريد ، حيث أجرى عدة تجارب أستنتج من خلالها وجود تبادل مزدوج Coupled exchange المقصود به أيون يتم تبادله مقابل أيون آخر ، حتى يدخل أيون Na^+ يخرج أيون الأمونيوم NH_4^+ بالماء العذب، أيون الكلوريد Cl^- يدخل مقابل خروج البيكاربونات HCO_3^- وهذا تبادل يتم فقط للأيونات الأحادية الشحنة ويتم بنفس الشحنة (موجب أو سالب) حيث تنتقل أيونات الصوديوم والكلوريد ضد تدرج التركيز وهذا النظام يستهلك طاقة والمصدر الوحيد للطاقة اللازمة لنقل الأيونات عبر الأغشية هو ATP (ادينوسين ثلاثي الفوسفات) ويتم تحديد هذه الطاقة بواسطة أنزيم خاص موجود في الأغشية داخل خلوية في الغلاصم هو Na^+/K^+ ATPase حيث يقوم بتحويل جزيئة ATP إلى ADP واطلاق الطاقة .

- نموذج التبادل المزدوج عبر خلايا الكلوريد في الأسماك البحرية لم يتوضح تماماً كما في أسماك المياه العذبة والسبب أن أيونات الصوديوم والأمونيوم والكلوريد والبيكاربونات ستتحرك إلى الخارج وهي غير جاهزة للتبادل .

ثانياً : كريشنر Kirschner

يعبر عن التبادل الأيوني للأسماك البحرية لأن الأيونات في Maetz غير جاهزة للتبادل .

وهذا الموديل يعتمد على فرق في الجهد الكهربائي للأغشية ويدعى التدرج الكهربائي Transepithelial potential (TEP) حيث لاحظ Kirschner وجود فرق في الجهد الكهربائي ما بين جسم سمكه ومحيطها الخارجي بمقداره +10 ملي فولت في المياه المالحة و −30 ملي فولت في المياه العذبة ، أي أن الجهد يتبع ملوحة الوسط وينتج TEP من النقل الفعال لأيونات الكلوريد خلال الغشاء الطلائي للغلاصم .

- أوجه التشابه والأختلاف بين التفسيرين :

التشابه :

- كلا التفسيرين يعتمد على نظام النقل الفعال .
- كلا التفسيرين يؤكد وجود أنزيم Na^+/K^+ ATPase

- **الإختلاف** :
- في Maetz التبادل الأيوني موجود بسبب توفر الأيونات أما في Kirschner لا توجد حاجة للتبادل الأيوني بسبب وجود تدرج كهربائي والذي يساعد على نقل الأيونات .
- التبادل الأيوني يفترض بأن غشاء الغلاصم غير نفاذ إلى الأيونات الثنائية بينما يفترض مرور الأيونات الثنائية بالإضافة إلى الجزيئات العضوية .
- التغيرات في الملوحة لها تأثير مباشر حسب نظرية TEP لأن الجهد الكهربائي يتغير بتغير الملوحة ، بينما في التبادل الأيوني (Maetz) هذه التغيرات تحتاج عدة أيام حتى تحدث .
- Maetz أكثر دقة من تفسير أسماك المياه العذبة.

- **دور الغلاصم والأمعاء والكلية في التنظيم الأزموزي** : -

أن جهاز التنظيم الأزموزي ليس عضو ولا يتكون من أعضاء وأنما هو جهاز يتكون من مجموعة مختلفة من الأغشية نصف الناضحة التي مابين السمكة ومحيطها الخارجي وهي مواقع تعمل عمل متكامل تحت السيطرة الهرمونية .

تؤدي الغلاصم في الأسماك دورها لمواجهة العديد من المتطلبات الوظيفية والتي يكون بها السطح الخارجي موقعاً لإنتشار الغازات والتوازن الأيوني وطرح الفضلات.

أذ تتكون الغلاصم من الخيوط الغلصمية Fillaments والصفائح الغلصمية Lamella ومغطاة بنسيج ظهاري خارجي يدعى Epithelium يحتوي النسيج الظهاري على عدة أنواع من الخلايا ومنها خلايا الكلورايد Chloride Cells إذ تكون بشكل مجاميع عنقودية أو بشكل مفرد تنتشر على طول الخيوط الغلصمية ، تحتوي هذه الخلايا على عدد كبير من المايتوكوندريا وشبكة أندوبلازمية كثيفة وخلايا الكلورايد الناضجة تحتوي على حفرة قمية تسمى Apical Crypt وأن خلايا الكلوريد الناضجة هي فقط التي تقوم بعملية التنظيم الأزموزي وعملية النقل الفعال لأحتوائها على أنزيم Na^+/K^+ ATPase وحفرة قمية تكون بتماس مباشر مع الوسط الخارجي

الكلية :-

- في الأسماك البحرية يكون الدم أكثر تركيزاً بقليل من دم أسماك المياه العذبة (الدم)
- البول يكون أكثر تركيزاً من بول أسماك المياه العذبة يكون مخفف أكثر من الدم .
- كمية البول في الأسماك البحرية تكون قليلة (لكي لا تفقد الماء) وهذا يعود إلى قيام الكلية بإعادة أمتصاص معظم الماء من الراشح بما معناه أن الكلية دور في عملية التنظيم الأزموزي حيث تكون الكلية أكثر كفاءة مما هي عليه في أسماك المياه العذبة حيث يفقد الماء بأستمرار ويجب تعويضه من مصادر متعددة وأحد هذه المصادر هو البول .

- وبالعكس في أسماك المياه العذبة حيث تقوم الكلية بطرح كميات كبيرة من البول المخفف حيث أن البول في أسماك المياه العذبة معظمه ماء وهذا يعود إلى دور الكلية في الإحتفاظ بالأملاح والتخلص من الماء.
- وعلى العموم لا توجد سمكة بحرية تستطيع إنتاج بول أكثر تركيزاً من الدم ولا توجد سمكة مياه عذبة بإستطاعتها أنتاج بول خالي تماماً من الأملاح .
- أسماك عالية التحمل الملحي Euryhaline fish تمتلك كلية أنتقالية تكون وسط مابين كلية أسماك المياه العذبة والبحرية . وأن هذه الأسماك لها القدرة على تقليل الفرق في التركيز بين الدم والبول مقارنة بأسماك المياه العذبة والمالحة .

دور الأمعاء في التنظيم الأزموزي وتأثيره على عملية التغذية

قد يؤثر ماء البحر المبتلع على عملية هضم الغذاء (عملية الهضم والتنظيم الأزموزي عمليتان متناقضتان) حيث أن ماء البحر قاعدي 8- pH 8.5 بينما PH الهضم في المعدة هو 3 (وسط ملائم لعمل أنزيم الببسين) فإذا دخل الماء إلى المعدة تتلكأ عملية الهضم لحل هذه المشكلة فإن الأسماك البحرية تتوقف عن التغذية عندما تكون في ماء البحر العالي التركيز بعض الأسماك تعتمد على الهضم في الأمعاء أكثر من الهضم في المعدة ويعتقد هذا هو السبب في نشوء أسماك عديمة المعدة .

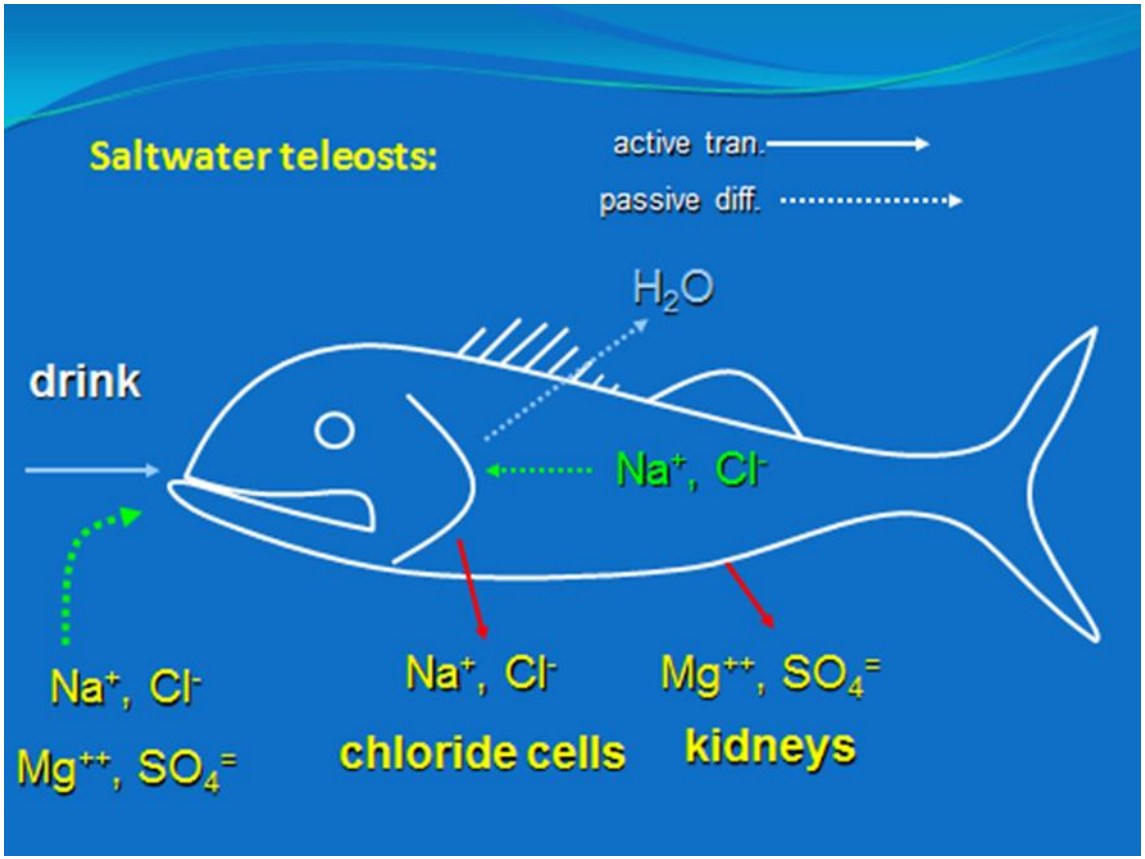
كما أن هناك أفتراض أن بعض الأسماك البحرية لها معدة بشكل Y يمر الماء القادم من البحر وهو ذو أس هيدروجيني PH مرتفع عن درجة حموضة المعدة (يميل إلى القلوية) من جزء صغير بحيث لا يؤثر على بقية محتويات المعدة .

أن من المعروف أن الأملاح الموجودة في ماء البحر هي التي تسبب بعض المشكلات في عمليات إفراز الأنزيمات الهاضمة وتقوم المعدة بالدور الهام في عملية تخفيف مياه البحر حتى تصل إلى تركيز الدم في هذه الأسماك .

التنظيم الأزموزي والأيوني في الأسماك البحرية

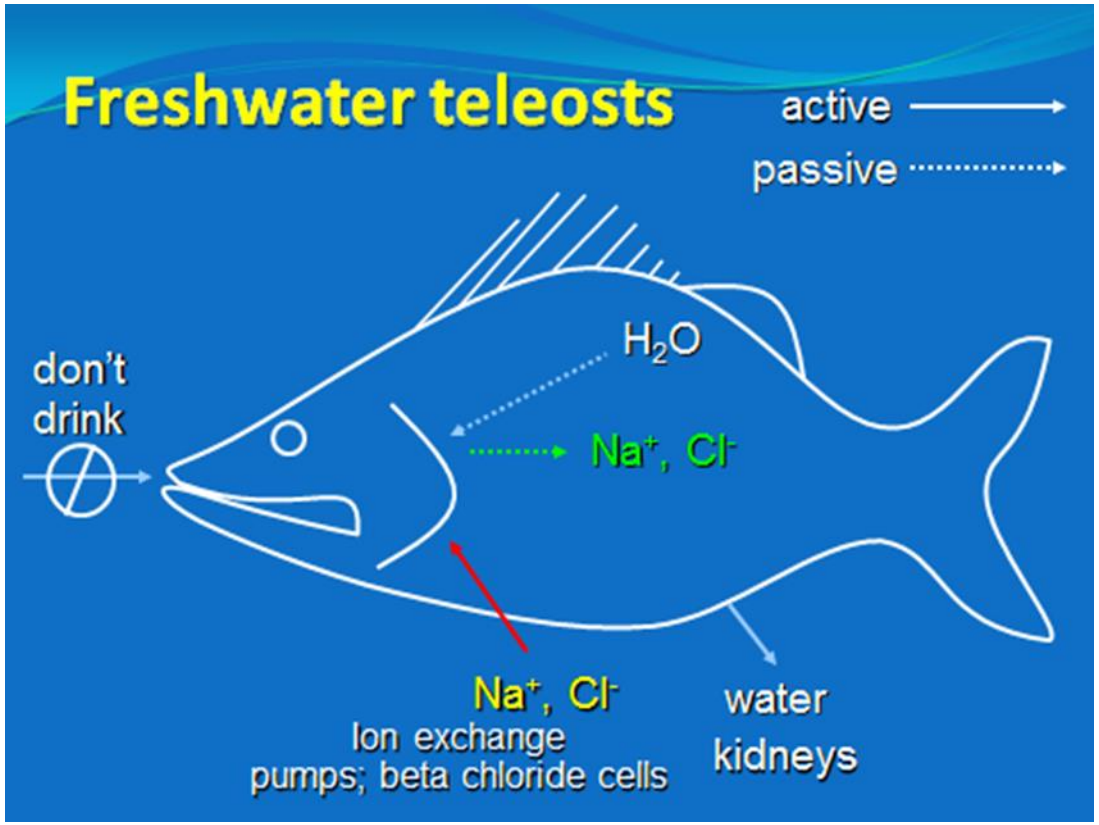
يكون تركيز السوائل الجسمية في الأسماك البحرية 1/3 تركيز ماء البحر تقريباً مع ميل السمكة للجفاف بسبب الأزموزية ، كذلك تميل الأملاح للدخول إلى الجسم ، وتتم حركة الماء والأملاح عبر الغلاصم أساساً ويعوض الماء المفقود بالأزموزية عن طريق شرب ماء البحر بنسبة تبلغ 0.3 . 1.5 % من وزن الجسم/ساعة . وتقوم الأمعاء بأمتصاص الماء والأملاح وتطرح الزيادة من أيونات الصوديوم والكلوريد بواسطة خلايا الكلوريد الموجود في الغلاصم .

- أما الأيونات الثنائية المأخوذة مع الماء المبتلع وهي المغنيسيوم والكبريتات فيتم التخلص منها عن طريق المستقيم. والكميات القليلة التي تخترق الأمعاء تطرح عن طريق الكلية.
- تطرح الأسماك البحرية كميات قليلة من البول المركز(0.5 % من وزن الجسم/ساعة) ويكون تركيزه مساوياً لتركيز السوائل الجسمية .
- س/ الأسماك البحرية لا تستطيع أن تكون بول تركيزه أعلى من تركيز الدم ؟
- ج/لأن الجهاز البولي في الأسماك لا يمتلك عروة هنلي


Saltwater teleosts:
active tran.
passive diff.
H_2O
drink
Na^+, Cl^-
Na^+, Cl^-
Mg^{++}, $SO_4^=$
Na^+, Cl^-
Mg^{++}, $SO_4^=$
chloride cells
kidneys

التنظيم الأزموزي والأيوني في أسماك المياه العذبة

- يكون تركيز السوائل الجسمية في أسماك المياه العذبة أكبر من تركيز الوسط الخارجي وبذلك يميل الماء للدخول بالأزموزية وخروج الأملاح بالأنتشار إلى الوسط الخارجي ويتم التخلص من الماء الزائد بطرح بول مخفف، بينما يتم تعويض الأملاح المفقودة بواسطة الأخذ الفعال عن طريق الغلاصم ، والوصول إلى حالة التوازن الأيوني عن طريق تبادل أيون الصوديوم مقابل أيونات الأمونيوم أو الهيدروجين وتبادل أيون الكلوريد مقابل أيون البيكاربونات .


Freshwater teleosts
active
passive
don't drink
H_2O
Na^+, Cl^-
Na^+, Cl^-
Ion exchange pumps; beta chloride cells
water
kidneys

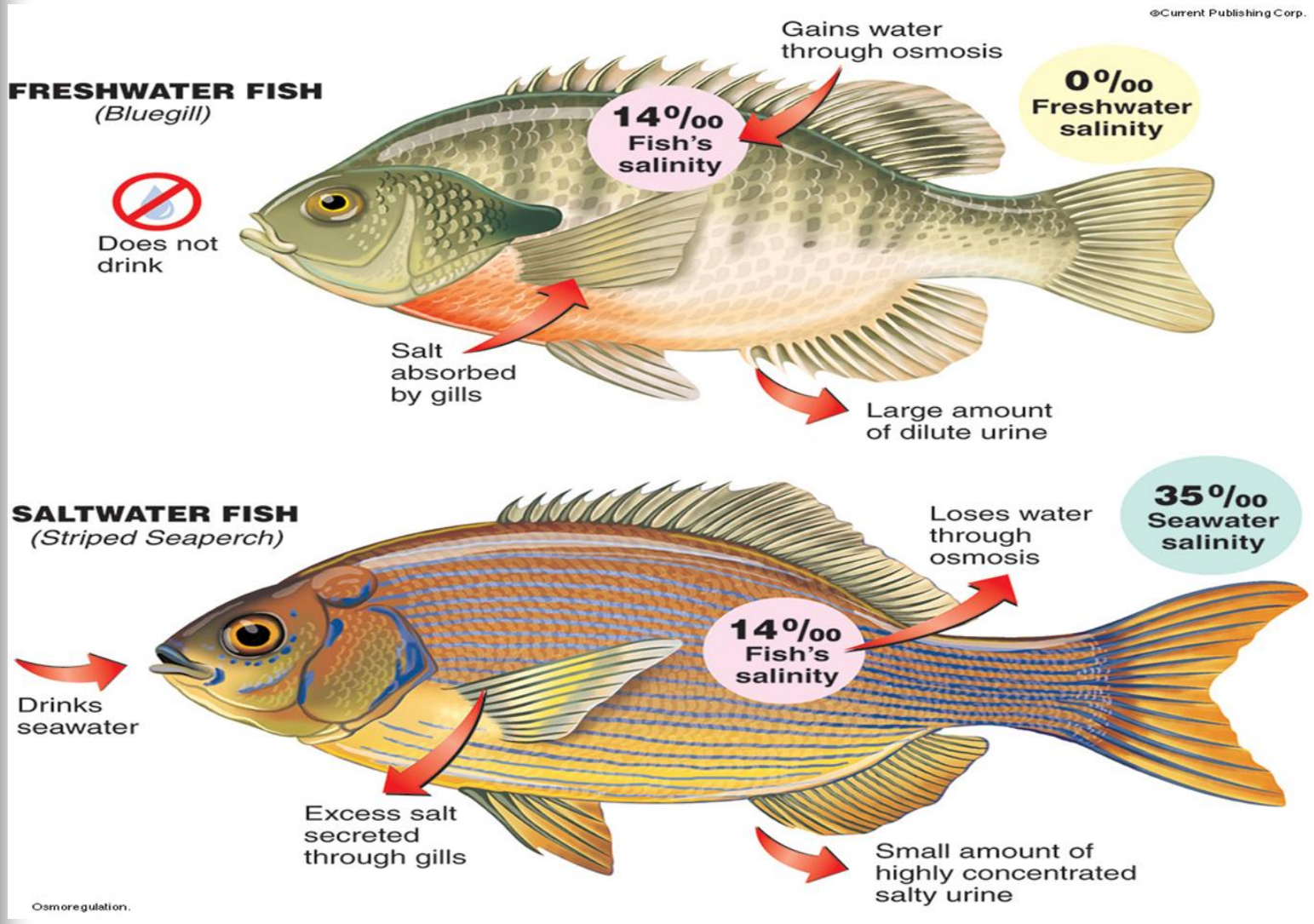
- وبذلك تكون الحالة هنا عكس الأسماك البحرية معظمها يشرب كميات قليلة من الماء أو لا تشرب الماء مطلقاً لأن كميات كبيرة من الماء تدخل إلى الجسم من خلال الغلاصم والتخلص من هذه الكميات الكبيرة من الماء من خلال البول حيث تستخدم طاقة الأيض لإعادة أمتصاص الأملاح من البول والبيئة .
- ان الضغط الازموزي الكلي Osmolarity لدم الأسماك العظمية يكون أكبر من الضغط الأزموزي للماء العذب وأقل من الضغط الأزموزي لماء البحر فإذن الأسماك العظمية تستخدم التنظيم الأزموزي في كلا البيئتين

التنظيم الأزموزي والأيوني في الأسماك العالية التحمل الملحي

تتحرك بعض أنواع الأسماك مثل السالمون والشعم الفضي والبياح والتراوت ما بين المياه العذبة والمياه المالحة في أوقات معينة من حياتها ويتطلب هذا الأنتقال أنعكاس كلي في حركة الأملاح عبر الغلاصم من تدفق إلى داخل الجسم influx في الماء العذب إلى تدفق خارج الجسم Efflux في الماء المالح .

أن أنتقال الأسماك من الماء العذب إلى الماء المالح يؤدي إلى جفاف معظم الجسم وزيادة معدل شرب الماء وأنخفاض نسبة ماء البلازما وزيادة تركيز الأيونات الأحادية والثانية في الدم والجسم ككل. وأن الإستجابة السلبية التي تسمح بزيادة قابلية التنظيم الأزموزي والأيوني تشمل زيادة عدد وحجم خلايا الكلوريد في الغلاصم وزيادة أمتصاص الماء والأيونات في الأمعاء وأنخفاض معدل الترشيح الكبيبي.

أما عند نقل الأسماك من المياه المالحة إلى المياه العذبة يتزامن معه أنخفاض ملحوظ في طرح الأيونات حيث يتم تنشيط الفعاليات التي تتولد من التركيز العالي لسوائل الجسم الذي يفوق تركيز الوسط الخارجي وذلك عند دخول السمكة لأول مرة إلى المياه العذبة . أما النقل الخيشومي للأملاح فأن طرح أيونات الصوديوم والكلوريد وغيرها من الأيونات يجب أن تتوقف لتصل عملها آلية أستخلاص هذه الأيونات من الوسط الخارجي بالنقل الفعال ويتم ذلك تعديل التنظيم الأزموزي من خلال أعضاء تنافذ أخرى غير الغلاصم متمثلة في تقليل شرب الماء وطرح الأيونات الزائدة عن طريق البول المركز لأتمام على الوسط الخارجي المخفف .


©Current Publishing Corp.
FRESHWATER FISH
(Bluegill)
Gains water through osmosis
0‰ Freshwater salinity
14‰ Fish's salinity
Does not drink
Salt absorbed by gills
Large amount of dilute urine
SALTWATER FISH
(Striped Seaperch)
35‰ Seawater salinity
Loses water through osmosis
14‰ Fish's salinity
Drinks seawater
Excess salt secreted through gills
Small amount of highly concentrated salty urine
Osmoregulation.

في ماء البحر بعض الحيوانات يتشابهة تركيز سوائل جسمها بتركيز ماء البحر isosmatic وتبذل مجهود قليل للسيطرة على بيئتها الداخلية مثال على ذلك اسماك الجريث hagfish يكون تركيز دمها مشابهة لتركيز ماء البحر. نظرا لان الضغط الازموزي الكلي للبلازما يكون مشابهة تقريبا لماء البحر. اللامبري والاسماك الغضروفية كلاهما تقوم بالتنظيم الازموزي ويكون تركيز معظم المواد في جسمها يختلف عن تلك التي لماء البحر الضغط الازموزي الكلي (العدد الكلي للدقائق في المحلول) يختلف عن ذلك الذي للبيئة فاذن تقوم بالتنظيم.

Osmoregulation Strategies

Osmoconforming (no strategy) Hagfish internal salt concentration = seawater. However, since they live IN the ocean....no regulation required!

تنجز الاسماك الغضروفية ذلك بطريقة تختلف عن الاسماك العظمية. نبيبات الكلية في الاسماك الغضروفية تحتفظ باليوريا حتى يصل تركيزها بالدم 5% بينما في الاسماك العظمية تركيز اليوريا قليل جدا 0.02% نظرا لعدم قدرة اليوريا على النفاذ عبر الغلاصم تبقى في الدم وترفع الضغط الازموزي الكلي للدم الى مستوى اعلى من ذلك لماء البحر. مع هذا يوجد تدرج بالتركيز مقدارة 1:2الى داخل جسم الاسماك الغضروفية من ناحية NaCl بذلك الاسماك تتخلص من الملح الداخل الى جسمها من خلال غدة المستقيم Rectalgland تركيب اصبعي صغير في الجزء الخلفي في التجويف الاحشائي وتقوم بطرح الملح بفعالية وبذلك تصرف الاسماك الغضروفية طاقة لتنظيم الازموزي والاحتفاظ باليوريا.

Osmoregulation in Elasmobranchs