مللتر ماء ، والامونيا مركب سام جدا حيث أن تركيز 8.5 ملغرام / 100 مللتر من دم الحشرات يؤدي الى موتها .

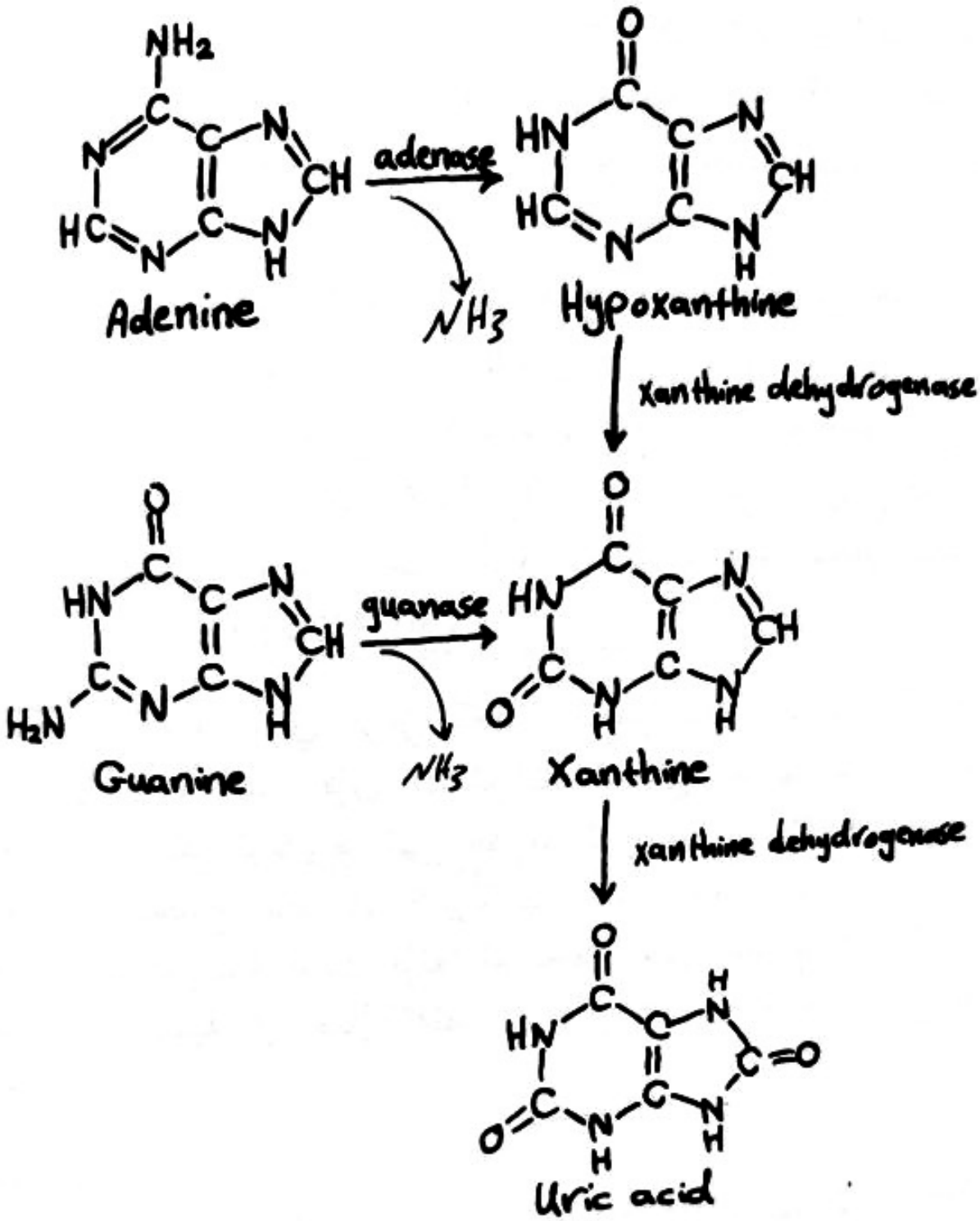
تتكون الامونيا بطريقتين في الايض ، فعندما تكون نسبتها ضئيلة في البرلز فإن ذلك يعود الى عملية هدم الاحماض النووية عن طريق سلب جذر الامين من Purines بفعل الانزيمات Guanase, Adenase (شكل 28) او Adenosine deaminase وتوجد جميع هذه الانزيمات في الحشرات .

اما عندما تكون نسبتها عالية فإنها تنتج بشكل رئيسي من تمثيل البروتينات عن طريق سلب جذر الامين من الببتونات في يرقات ثنائية الاجنحة التي تتغذى على اللحوم ، او من الحوامض الامينية كما في اغلب الحشرات (شكل 29) ولا تتكون الامونيا في الحشرات من هدم اليوريا حيث لم يعثر على انزيم Urease الذي يحلل اليوريا الى امونيا وغاز CO_2 (شكل 30) .

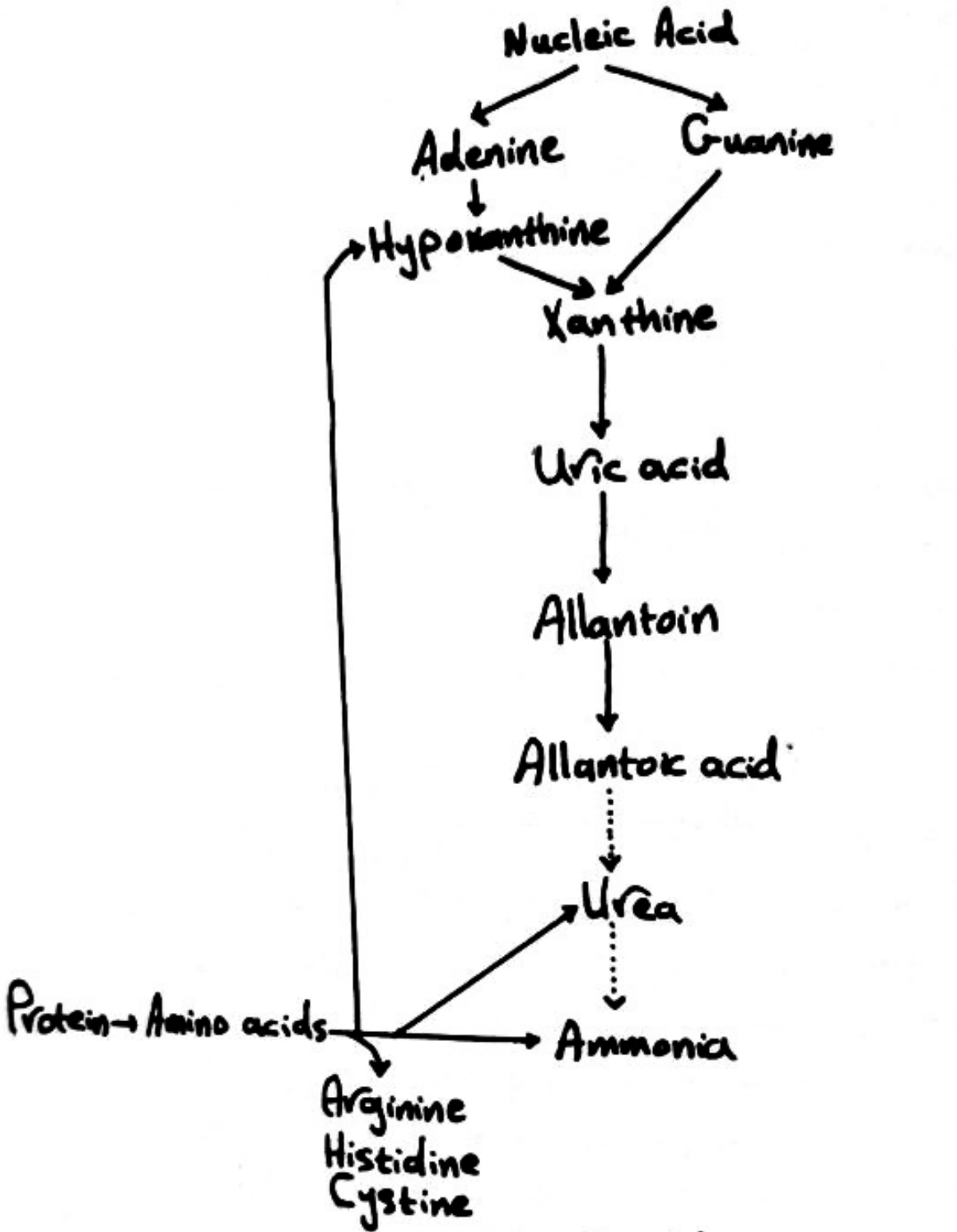
لقد وجدت الامونيا في براز معظم الحشرات المدروسة . ولما كانت الامونيا سامة جدا فإن الحشرات تحتاج لعزلها بسرعة من الجسم قبل ان يرتفع تركيزها الى حد مميت وبما انها عالية الذوبان فإن الحشرات تحتاج لكميات كبيرة من الماء لاخراجها وهذا مالا يتوفر للحشرات الارضية لذلك فإنها لم تعتمد على الامونيا في اخراج الفضلات النتروجينية في حين تعتمد الاطوار المائية للحشرات عليها لتوفر الماء .

2 ـ اليوريا :

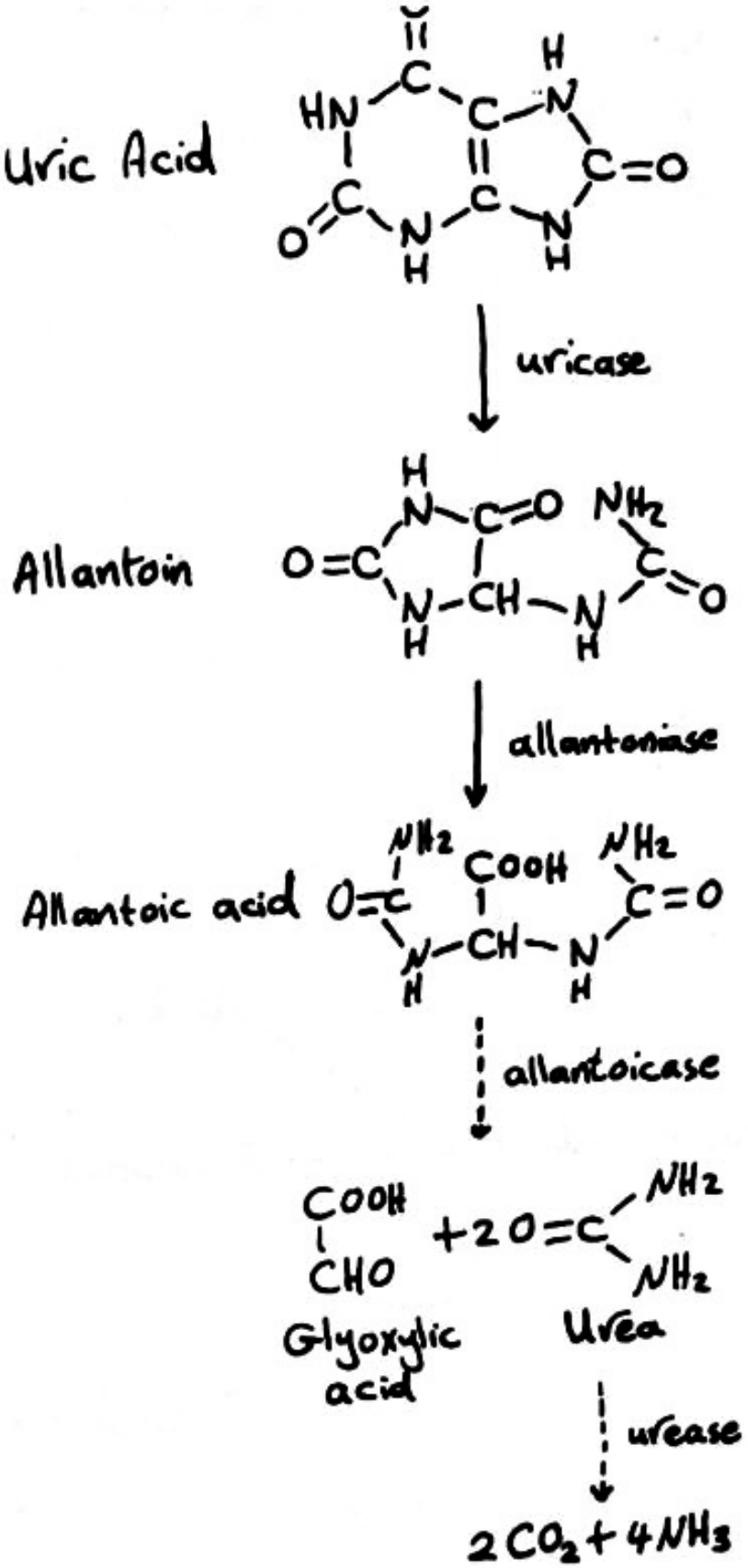
وهي عالية الذوبان في الماء حيث تبلغ 119300 ملغرام / 100 مللتر ماء وسميتها قليلة جدا . واليوريا شائعة الانتشار بين الحشرات ولكنها توجد دائما بكميات تشكل نسبة ضئيلة من مجموع النتروجين في الادرار ، تنتج اليوريا على الاكثر من تمثيل الاحماض الامينية Citrulline و Arginine و Ornithine بفعل بعض الانزيمات التي وجدت في العديد من الحشرات . وقد تتكون اليوريا من هدم حامض Allantoic acid الى يورياو (Glyoxylic acid) بفعل الانزيم Allantoicase (شكل 30) ولكن هذه الطريقة لم تثبت بعد بين الحشرات .



شكل (٢٨) : اكسدة قواعد البيورين الموجودة في الحوامض النووية وتكوين حامض اليوريك (عن Bursell 1967).



شكل (٢٩) : خطوات تكوين الفضلات النتروجينية في الحشرات (عن Bursell 1967).



شكل (٣٠) : خطوات تحويل حامض اليوريك الى فضلات نتروجينية اخرى (عن Bursell 1967).

لقد تجنبت الحشرات سيادة اليوريا في فضلاتها النتروجينية فبالرغم من قلة سميتها الا أن ذوبانها العالي جدا في الماء سيؤدي الى تكوين محلول ذو ضغط تنافذي عالي جدا لا يمكن لخلايا المستقيم ان تمتص الماء والمواد المفيدة منه عن طريق الانتشار، كما أن صغر حجم جزيئات اليوريا يسمح لها باختراق غشاء الكيوتكل للمستقيم والعودة الى السائل الدموي

3 ـ حامض اليوريك :

نسبة ذوبان الحامض في الماء واطئة جدا تبلغ 6 ملغرام/ 100 وهو غير سام.

يتكون حامض اليوريك بطريقتين، الاولى من تمثيل الحوامض الامينية حيث تبنى جزيئة Hypoxanthine من كسور الحوامض الامينية ثم تتأكسد مرتين بفعل انزيمات فيتكون حامض اليوريك، ويحتاج عملية بناء جزيئة Hypoxanthine الى طاقة.

اما الطريقة الثانية فمن هدم القواعد النتروجينية Guanine, Adenine الداخلة في تركيب الحوامض النووية حيث تتأكسد هذه القواعد بفعل الانزيمات (شكل 28, 29) لتكون حامض اليوريك.

يوجد حامض اليوريك في الغالبية العظمى من الحشرات ويكون سائدا في الحشرات الارضية الا في بعض الحالات النادرة، اما في الحشرات المائية ورغم سيادة الامونيا فإن حامض اليوريك يوجد بكميات لابأس بها وسبب انتاج الحشرات الارضية لهذا الحامض كفاضل نتروجيني لانه غير سام وقليل الذوبان جدا في الماء حيث يتحول الحامض النقي الى بلورات في الماء ولذلك تفقد الحشرات قليلا من الماء لطرحه اذ أن هذا الحامض لا يؤثر على الضغط التنافذي لمحتويات تجويف المستقيم وبذلك تتمكن الخلايا من سحب الماء والمواد المفيدة من هذه المحتويات عن طريق الانتشار واعادتها للدم، وكلما زادت سيادة حامض اليوريك على بقية الفضلات النتروجينية زادت قدرة الحشرة على طرح ادرار اكثر جفافا.

ومن عيوب هذه الطريقة هو استهلاك طاقة كبيرة في تصنيع حامض اليوريك، فقد ذكر Chapman 1978 أن الحشرات الماصة للدم تفقد 50% من القيمة الغذائية لكل وجبة دم لاستهلاكها الطاقة في

انتاج حامض اليوريك في حين لا تستهلك الا 15% منها لو انتجت الامونيا بدلا منه ، وبسبب عدم سميته فقد امكن للحشرات أن تخزن هذا الحامض في الخلايا البولية الموجودة بين خلايا الجسم الدهني .

4 ـ **Allantoic acid, Allantoin** : وهما من مشتقات حامض اليوريك .

ينتج الاول من أكسدة حامض اليوريك بفعل الانزيم Uricase والثاني من التحليل المائي لـ Allantoin بفعل الانزيم (Allantoinase شكل 30) .

وقد وجد هذان الانزيمان في انابيب مالبيجي . ذوبان الاول 60 ملغرام / 100 مللتر اما الثاني فذوبانه اقل من حامض اليوريك . يسود Allantoin على بقية الفضلات النتروجينية في اغلب افراد رتبة نصفية الاجنحة كما يوجد بنسب معتدلة مع حامض اليوريك في براز العديد من الحشرات من رتب اخرى . ويسود Allantoic acid في بعض افراد رتبة حرشفية الاجنحة ، ولم يعرف بعد السبب من تحويل حامض اليوريك لهذين المشتقين ولكن وجد في احد الدراسات ان حشرة Dysdercus من رتبة نصفية الاجنحة تحتاج لطرح كميات كبيرة من الاملاح غير العضوية الموجودة مع الغذاء ولذلك فإن Allantoin يتكون بدلا من حامض اليوريك لغرض زيادة الضغط التنافذي في محتويات المستقيم وبذلك لا تتمكن خلاياه من اعادة امتصاص الا قليلا من الاملاح .

5 ـ **الحوامض الامينية** :

توجد الحوامض الامينية بنسب ضئيلة جدا في أدرار أغلب الحشرات ويعود سبب وجودها لعدم أمتصاص كل كمية الحوامض الامينية بواسطة خلايا المستقيم اي ان السبب فشل في الامتصاص وليس غرضا أخراجيا .

وفي بعض الاحيان يقوم الجهاز الاخراجي بطرح احماض امينية معينة موجودة في الغذاء لاسباب خاصة فمثلا في ذبابة التسي تسي التي تتغذى على الدم يخرج الحامضان الامينيان Arginine و Histidine بنسبة عالية مع الادرار وسبب عدم استفادة الحشرة منهما

لانهما يحتويان على أعلى نسبة من النتروجين مقارنة بالاحماض الامينية الاخرى وتحتاج الحشرة لاستهلاك طاقة كبيرة لغرض تمثيلهما .

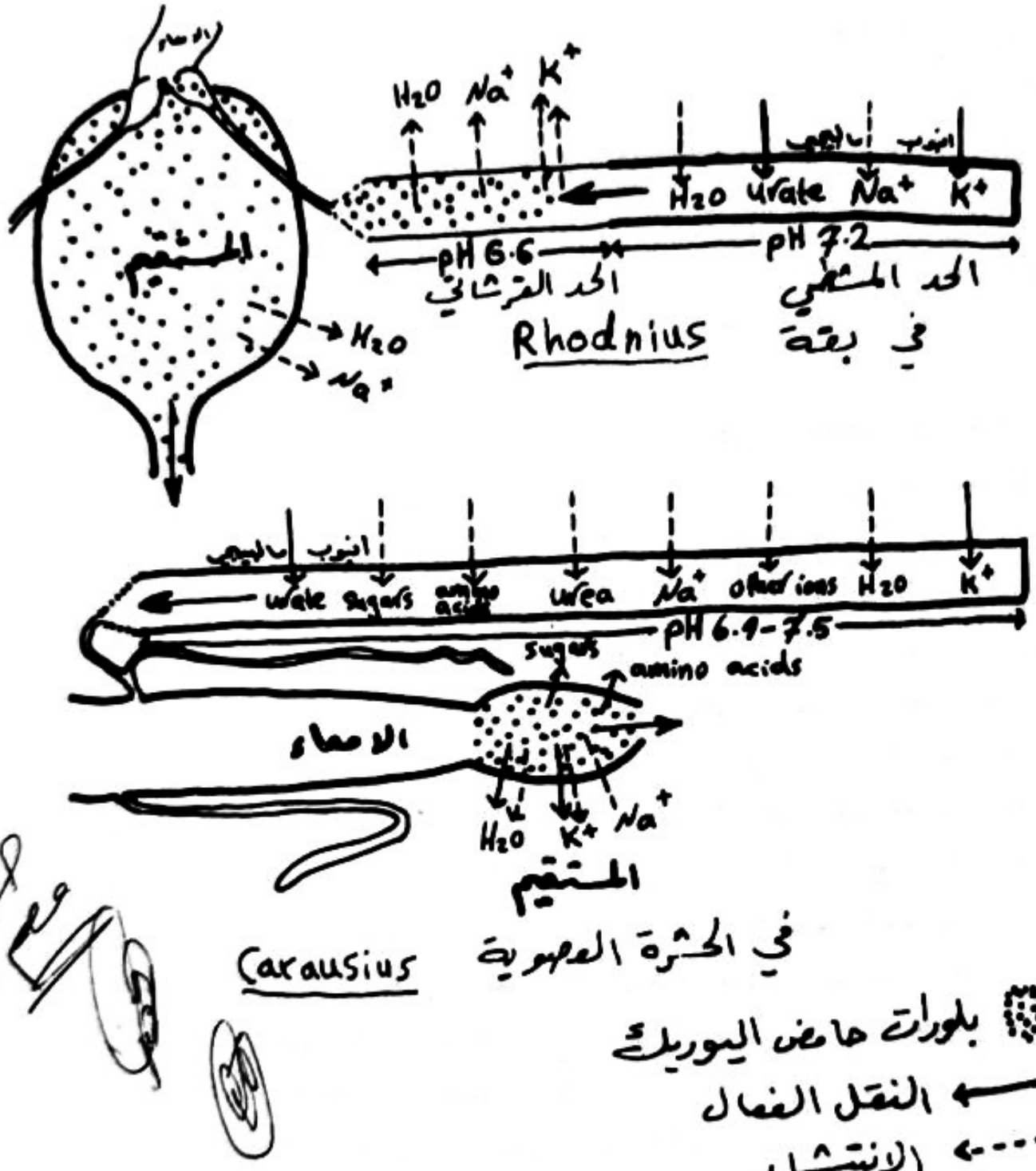
طريقة اخراج الفضلات النتروجينية :: ـ

تدخل الجزيئات الصغيرة للمركبات العضوية عبر جدار الانابيب عن طريقين : الاول بواسطة النقل الفعال وهو متخصص لنقل حامض اليوريك فقط ، والثانية بالانتشار وبواسطته تدخل بقية المركبات ، يوجد حامض اليوريك في الدم مذابا بشكل يورات البوتاسيوم او الصوديوم ، وقد ذكر Shaw, Stobbart في 1974 Rockstein أن تركيز ايونات اليوريا في سائل انابيب مالبيجي في حشرة Carausius يبلغ عشر مرات اكثر مما في الدم مما يشير الى ان خلايا الانابيب تنقل ايونات اليوريا من منطقة التركيز الواطيء الى التركيز العالي ، وتسير يورات البوتاسيوم مع سائل الانابيب المفروز لتصل الى الامعاء ثم المستقيم وهناك يبدأ امتصاص الماء وايونات البوتاسيوم ويصاحب ذلك تغيير في حموضة محتويات المستقيم لتصل الى 4.5-3.5 بعد ان كانت 7.5-6.8 في الانابيب ويؤدي ذلك الى ترسب بلورات حامض اليوريك لتخرج مع الادرار والبراز وبهذه الطريقة يتم اخراج حامض اليوريك في الحشرات التي تكون انابيب مالبيجي فيها افرازية على طولها ، اما في الحشرات التي تنقسم انابيب مالبيجي فيها الى منطقة علوية افرازية ومنطقة سفلية لاعادة الامتصاص كبقة Rhodnius فإن يورات البوتاسيوم والصوديوم تفرز الى داخل تجويف انبوب مالبيجي في المنطقة المشطية لتنزل مع بقية السائل المفروز وعندما تصل الى المنطقة الفرشاتية يعاد امتصاص الماء والايونات الموجبة وتتغير الحموضة من 2.7 الى 6.6 فترسب حامض اليوريك على شكل بلورات وتستمر عملية البلورة والترسيب في الامعاء والمستقيم (شكل رقم 31) .

اما جزيئات بقية المركبات العضوية (النتروجينية والسكريات) فأنها تنتقل من الدم وعبر جدار انابيب مالبيجي الى تجويف الانابيب عن طريق الانتشار من منطقة التركيز العالي الى منطقة التركيز الواطيء . فعند دراسة قابلية انابيب مالبيجي على عزل

جدول يبين نسبة المركبات النتروجينية في براز الحشرات (مقدرة على أساس النسبة المئوية للنتروجين في البراز)

الحشرة	حامض اليوريك	يوريا	أمونيا	Allantoin	Allantoic acid	أحماض أمينية			بروتين
الحشرات المائية									
1 ـ حوريات الرعاش	9	–	91						
2 ـ يرقة Sialis (شبكية الاجنحة)	–	–	90						
الحشرات الارضية									
1 ـ يرقة الذباب المعدني	–	–	90	10					
2 ـ عذراء الذباب المعدني	87	–	13						
3 ـ بالغة الذباب المعدني	62	–	19	19					
4 ـ بعوضة Aedes	47	15	7	13	–	7			11
5 ـ يرقة Dysdercus (نصفية الاجنحة)	8	12	–	61	–	13			6
6 ـ يرقة أبو دقيق اللهانة	18	–	–	14	68	–			–
7 ـ بالغة أبو دقيق اللهانة	95	–	–	4	1	–			–



شكل (٣١) : مخطط توضيحي يبين حركة الايونات والجزئيات الى ومن الجهاز الاخراجي النموذجي في نوعين من الحشرات المدروسة (عن Stobbert shaw. 1974 بتحوير)

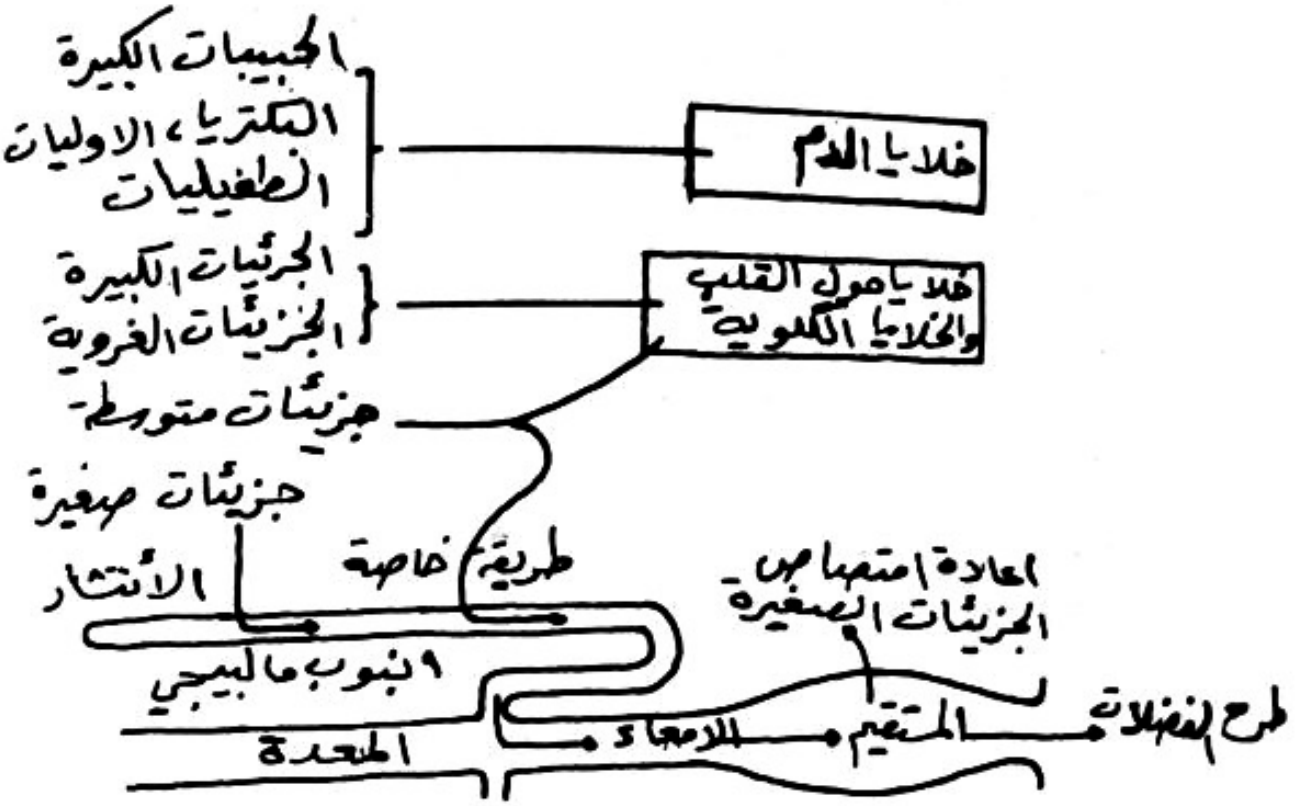
بعض الاحماض الامينية والسكريات الاحادية والسكروز واليوريا
وجدت النتائج الاتية :: -
1 ـ ان نسبة تركيز كل مركب في سائل الانابيب / تركيزه في الدم (U/P Ratio) كانت اقل من واحد دائما . فقد تراوحت للحوامض الامينية من 0.17 الى 0.6 وللسكريات الاحادية من 0.61 الى 0.86، اما اليوريا فكانت 0.96 .
2 ـ أن تغير تركيز كل من هذه المركبات في الدم لا يؤثر على تلك النسبة
3 ـ لا يوجد تداخل في تأثير تركيز كل من هذه المركبات في الدم على تركيز المركبات الاخرى في سائل الانابيب .

يستنتج من ذلك ان جدار انابيب مالبيجي يختلف في نفاذيته للمركبات العضوية المختلفة وان هذه المركبات تدخل الى تجويف الانابيب بواسطة الانتشار وتمر مع سائل الانابيب المفروز الى الامعاء ثم المستقيم حيث يعاد امتصاصها (شكل 31) من قبل خلاياه وتعود للدم . ان هذه الدورة للمركبات العضوية المفيدة (عدا اليوريا) من الدم الى انابيب مالبيجي ثم المستقيم والى الدم ثانية قد جاء كنتيجة عرضية لواجب أساسي لجهاز الاخراج وهو طرح المركبات السامة وغير المرغوبة . فأكثر جزيئات المركبات غير المرغوبة تكون متوسطة الى كبيرة الحجم ولابد لجدار الانابيب ان يكون على قدر من النفاذية يسمح لها بالدخول من الدم الى تجويف الانابيب اما عن طريق الانتشار او النقل الفعال ونتيجة ذلك تدخل جزيئات المركبات العضوية المفيدة التي تكون اصغر حجما عبر جدار الانابيب ، وفي الامعاء والمستقيم يكون غشاء الكيوتكل السميك نفاذا للجزيئات الصغيرة وهي جزيئات المركبات المفيدة ، اما الجزيئات الاكبر فإنها لا تتمكن من اختراقه وبذلك تخرج مع البراز والادرار .
وبالنسبة للفضلات النتروجينية الاخرى مثل (Allantoic acid, Allantion) فلا يعرف الكثير عن طريقة اخراجها ولكن يعتقد ان انزيمي Allantoinase و Uricase الموجودان في انابيب مالبيجي يقومان بتحويل املاح حامض اليوريك المفرزة الى املاح هذين المشتقين ، ولاسباب لم يعرف بعد لا تتمكن انابيب مالبيجي الصرصر

الامريكي من عزل حامض اليوريك لذلك يقوم جدار الامعاء بعزله من الدم ونقله الى تجويف القناة الهضمية الخلفية.

اما اخراج الامونيا بكميات كبيرة في بعض الحشرات مثل يرقات الذباب المعدني Calliphora وذبابة اللحم Sarcophaga فيتم بواسطة القناة الهضمية حيث تمر غالبية الامونيا من المعدة الى الامعاء والمستقيم لتطرح خارجا وتقوم انابيب مالبيجي وجدار القناة الهضمية الخلفية بعزل مايوجد من الامونيا في الدم.

وشكل (32) مأخود من Maddrell 1971 وهو مخطط يوضح بأختصار وبشكل عام مراحل الاخراج في الحشرات.



شكل (٣٢) : مخطط يوضح الطرق المختلفة في ازالة المواد غير المرغوبة من السائل الدموي بواسطة الجهاز الاخراجي النموذجي
(عن Maddrell 1971)