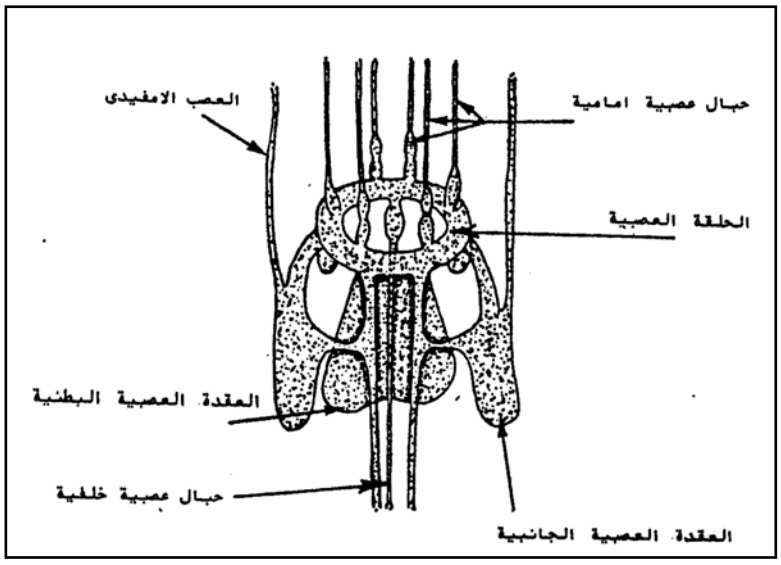
الجهاز العصبي Nervous System

يتألف الجهاز العصبي في أبسط صوره من الحلقة العصبية Nerve Ring وعدد من الحبال العصبية الطولية Longitudinal Nerves (الشكل رقم ١٤)، بالإضافة إلى عدد من أعضاء الحس تنتشر في أنحاء الجسم المختلفة، وخاصة في منطقتي الرأس ومؤخرة الجسم.



الشكل رقم (١٤). رسم تخطيطي للحلقة العصبية والحبال العصبية الطولية المتصلة بها في نيماتودا *Rhabditis*.

والحلقة العصبية – تمثل الجهاز العصبي المركزي – تشكل الجزء الرئيس من الجهاز العصبي، وتتكون بصورة رئيسة من مجموعة من الألياف العصبية Nerve Fibers والعقد العصبية Ganglia المصاحبة لها. وتحيط الحلقة العصبية بالمريء في منطقة البرزخ، ويمتد منها ستة أعصاب طولية أمامية، تسمى بالأعصاب الرأسية Papillary Nerves، لتغذي أعضاء الحس في منطقة الرأس والتي تشمل الحلمات والأشواك الشفوية Papillae and Setae. وبالإضافة إلى ذلك يمتد أماميًّا عصبان أمفيديان لتغذية زوج الأعضاء الأمفيدية في منطقة الرأس. كما يمتد أيضاً من الحلقة العصبية عدد من أعصاب طولية خلفية، من أهمها العصبان الظهري والبطني، لتغذية أعضاء الحس في الجزء الخلفي من جسم النيماتودا.

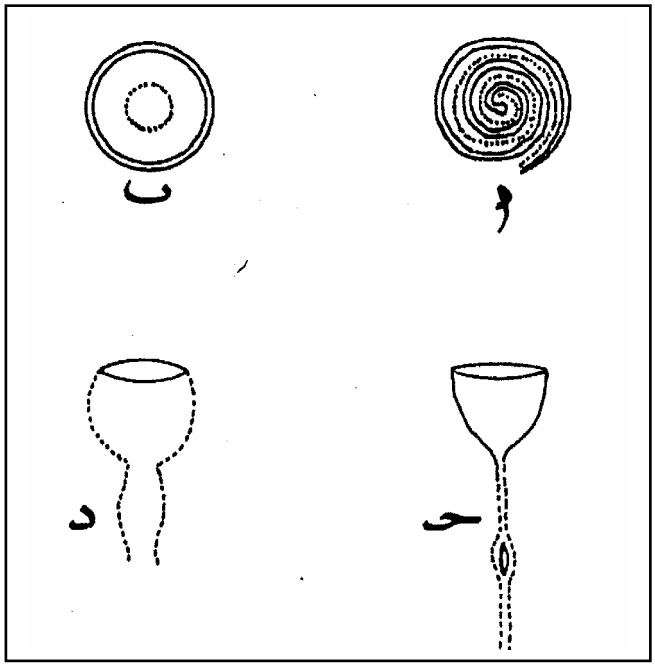
وتتركز الأعضاء الحسية في مقدمة ومؤخرة جسم النيماتودا، وتساعد جميع هذه الأعضاء النيماتودا في التعرف على التغيرات في البيئة المحيطة الخارجية، حيث تتصل هذه الأعضاء بالجهاز العصبي بواسطة ألياف عصبية. ومن هذه الأعضاء الحسية مايلي:

١ - أعضاء الحس الرأسية Cephalie Sense Organs

وتشتمل هذه الأعضاء على زوج من الأعضاء الأمفيدية Amphids تقع على جانبي الرأس، وكذلك على ١٦ عضواً حسيًّا مرتبة في ثلاث دوائر حول فتحة الفم (الشكل رقم ٦). حيث يوجد ست حلمات شفوية Labial Papillae داخلية وأخرى خارجية مرتبة في تناظر شعاعي سداسي إلى الداخل والخارج على الشفاه الست المحيطة بفتحة الفم، وكذلك أربع أشواك رأسية Cephalic Sctae مرتبة في الدائرة الخارجية الثالثة في منطقة الرأس حول الشفاء. وتعتبر هذه الأعضاء – ما عدا الأعضاء الأمفيدية – أعضاء حس لمسية.

وبالرغم من اختلاف شكل العضو الأمفيدي وحجمه في الأنواع النيماتودية المختلفة إلا أنه يحتل دائماً مساحة كبيرة نسبيًّا على كل جانب من جانبي منطقة الرأس. ويتكون العضو الأمفيدي الواحد من الفتحة الأمفيدية التي تقع على جانب منطقة الرأس، وتتخذ هذه الفتحة أشكالاً مختلفة، فهي مجرد فتحة صغيرة مستديرة تقريباً في منطقة الشفاه في طائفة Secernentea (الشكل رقم ٨)، أما في طائفة Adenophorea فقد تتخذ الشكل الحلزوني، الإهليلجي، الدائري، أو الجيبي (الشكل رقم ١٥)، وتقع خلف المنطقة الشفوية Postlabial. تتصل هذه الفتحة – إلى الداخل – بالقناة الأمفيدية والتي تتسع مكونة جيباً أمفيديًّا يحتوي على أطراف الأعصاب المتصلة بالحلقة العصبية، وقد يتصل هذا الجيب بغدة أمفيدية وحيدة الخلية. ويعتقد أن الأعضاء

الأمفيدية تعمل كمستقبلات كيميائية Chemoreceptors ، ولذلك فهي تساعد في توجيه نيماتودا النبات نحو جذور العائل استجابة لإفرازات الجذور الكيميائية.



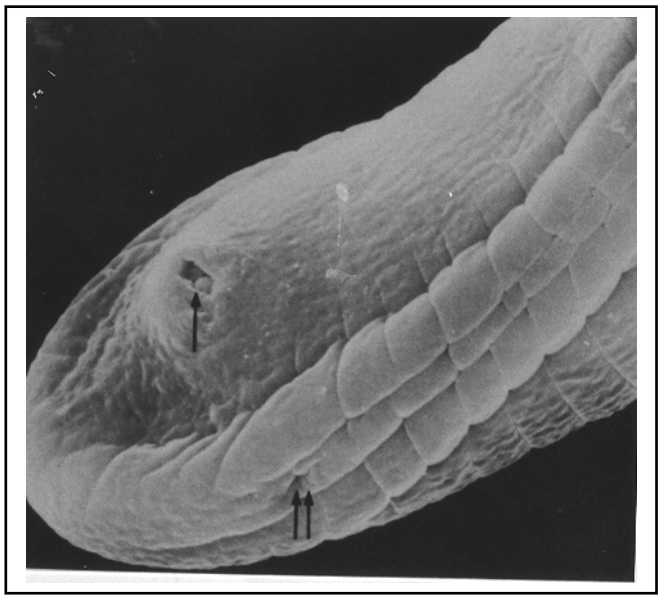
الشكل رقم (١٥). الأشكال المختلفة للفتحات الأمفيدية في طائفة Adenophorea (أ) الشكل الحلزوني (ب) الشكل الدائري (جـ) الشكل الجيبي (د) على شكل شق طولي.

٢- أعضاء الحس الذيلية Caudal Sense Organs

تضم منطقة الذيل عدداً من أعضاء الحس نذكر منها ما يلي :

أ) زوج من الأعضاء الفازميدية Phasmids : وهي زوج من الأعضاء الحسية الجانبية توجد عادة على جانبي مؤخرة الجسم ، ويقتصر وجودها على طائفة Secernentea ولذلك كانت هذه الطائفة تسمى سابقاً بطائفة Phasmida ، في حين أن طائفة Adenophorea كانت تسمى Aphasmida. تظهر فتحة العضو الفازميدي كفتحة

صغيرة جانبية (الشكل رقم ١٦)، أو ذات شكل جيبي كبير نسبيًّا، أو قد تتحور على شكل صفيحة تسمى في هذه الحالة Scutella. والعضو الفازميدي يشبه العضو الأمفيدي إلى حد كبير في تركيبه الداخلي ووظيفته.



الشكل رقم (١٦). صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) للجزء الخلفي من منطقة الذيل لذكر نيماتودا تعقد الجذور. يشير السهمان إلى الفتحة الفازميدية (في وسط الحقل الجانبي) بينما يشير السهم إلى فتحة المجمع.

(عن Eisenback, 1985).

ب) أعضاء حسية جنسية Genital Sense Organs: وهي مجموعة تشتمل على حلمات حسية مختلفة الأشكال توجد في الجهة البطنية لمؤخرة جسم الذكر فقط. تقع هذه الأعضاء إما داخل الجراب التناسلي (في حالة وجوده)، أو تبدو كمناطق بارزة من كيوتيكل رقيق، وأحياناً تكون مصحوبة بعدد من الغدد. وهي أعضاء حس لمسية، وربما كان لها علاقة بمساعدة الذكر عند السفاد.

٣- أعضاء حس ناتجة عن تحورات في طبقة الكيوتيكل Cuticular Sense Organs

وتشمل مجموعة من أعضاء الحس منتشرة على طول الجسم تحت طبقة الكيوتيكل، إلا أن تراكيبها ووظائفها غير معروفة تماماً، ولكن يعتقد أن لجميع هذه الأعضاء علاقة بالجهاز العصبي. وتشمل هذه الأعضاء السفاليد Cephalids في المنطقة الرأسية من الجسم، والكوداليد Caudalids أمام فتحة الشرج، وكذلك أعضاء الهيميزونويد Hemizonoid في الجهة البطنية بالقرب من الفتحة الإخراجية، والهيميزونيون Hemizonin التي تقع خلف أعضاء الهيميزونويد.

٤- ديريد Deirids

وهي زوج من الأعضاء الحسية تقع على جانبي الجسم وسط خطوط الحقلين الجانبيين في منطقة الحلقة العصبية، وتتغذى عصبياً بواسطة الأعصاب الجانبية الخارجية.

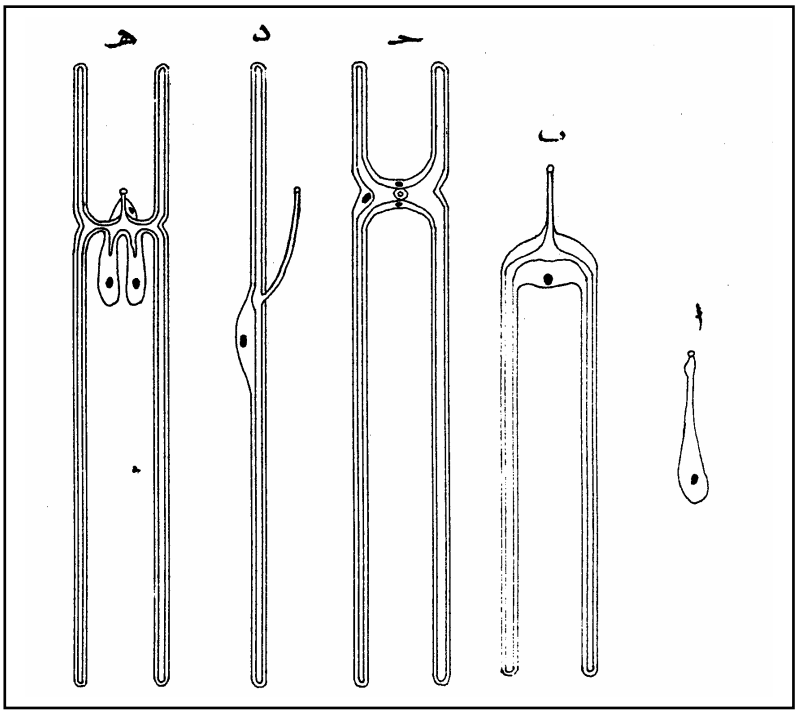
٥- أوسيللي Ocelli

وهي أعضاء حس شبيهة بالعين تقع مغمورة في عضلات المريء، ويقتصر وجودها على نيماتودا المياه العذبة والمالحة فقط.

الجهاز الإخراجي Excretory System

يتخذ الجهاز الإخراجي في النيماتودا أشكالاً مختلفة (الشكل رقم ١٧)، إلا أنه قد يكون غائباً تماماً في بعض الأنواع، أو مختزلاً بدرجة كبيرة في البعض الآخر. وقد يعتبر ذلك نوعاً من التأقلم، سيما وأن الفتحة الإخراجية تظل موجودة برغم غياب

الجهـــاز الإخراجي. ويتميز الجهاز الإخراجي في النيماتودا بغياب الخلايا اللهبية Flame Cells والأهداب Cillia ، أو أي ميكانيكية تحدث تياراً مستمرًّا.



الشكل رقم (١٧). الجهاز الإخراجي من النوع الغدي (أ) والأشكال المختلفة للجهاز الإخراجـي مـن النوع الأنبوبي (ب – هـ).

(عن Hirschmann, 1971).

وفي الواقع فإن الوظيفة الإخراجية لهذا الجهاز إنما بنيت فقط على أساس التركيب المورفولوجي لهذا الجهاز. ولا يزال الجدل قائماً حول تحديد هذه الوظيفة بصورة واضحة لا تقبل الشك والجدل، وقد يعود ذلك بصفة أساسية إلى الصعوبات التقنية التي تواجه العلماء في دراسة وظائف الجهاز الإخراجي. فقد وجد أنه من الصعب الحصول على سوائل تخرج من الفتحة الإخراجية حتى في النيماتودا الكبيرة

الحجم، كالأسكارس مثلاً، وما تم الحصول عليه من هذه السوائل كان تحت الظروف المعملية غير الطبيعية. ولا يزال السؤال دائراً حول ما إذا كانت وظيفة الجهاز الإخراجي في النيماتودا هي تنظيم الضغط الأسموزي لسوائل الجسم أو التخلص من نواتج التمثيل الغذائي أم كليهما معًا.

ويعتمد التقسيم الحديث لشعبة النيماتودا (Phylum: Nematoda) إلى طائفتين رئيستين: طائفة Class: Secernentea وطائفة Class: Adenophorea على نوع الجهاز الإخراجي. ففي الطائفة الأولى يكون الجهاز الإخراجي من النوع الأنبوبي Tublar، بينما يكون في الطائفة الثانية من النوع الغدي Glandular الأبسط تركيباً.

أنواع الجهاز الإخراجي

١- الجهاز الإخراجي الغدي Glandular Type

يتكون هذا الجهاز بصورة أساسية من غدة إخراجية Excretory Gland (Renette Cell) وحيدة الخلية (الشكل رقم ١٧أ)، تقع في تجويف الجسم بالقرب من منطقة المريء، ويمتد منها قناة إخراجية يختلف طولها حسب النوع، وتكون هذه القناة عادة غير مبطنة بالكيوتيكل. وينتفخ الجزء الأمامي من هذه القناة على شكل حوصلة صغيرة ثم تنتهي بالفتحة الإخراجية Excretory Pore في الجهة البطنية من الجسم بالقرب من الحلقة العصبية.

٢- الجهاز الإخراجي الأنبوبي Tubular Type

يتخذ الجهاز الإخراجي في هذا النوع عدة أشكال (الشكل رقم ١٧ ب-هـ) لكنه يتميز بوجود قناتين إخراجيتين طوليتين Longitudinal Canals، تمتدان جانبياً داخل الحبال الجانبية في منطقة الهيبودرمس. وتتصل الغدتان في الجهة الأمامية من الجسم

بواسطة قناة عرضية Excretory Sinus من الجهة البطنية، ومنها تخرج قناة طرفية مبطنة بالكيوتيكل تفتح في الفتحة الإخراجية، وهذا الشكل يعرف بشكل حرف "H" (الشكل رقم ١٧ جـ، هـ). وأحياناً يتصل بالقناة العرضية غدتان إخراجيتان، وقد تكون هذه الغدد أثرية أو معدومة تماماً.

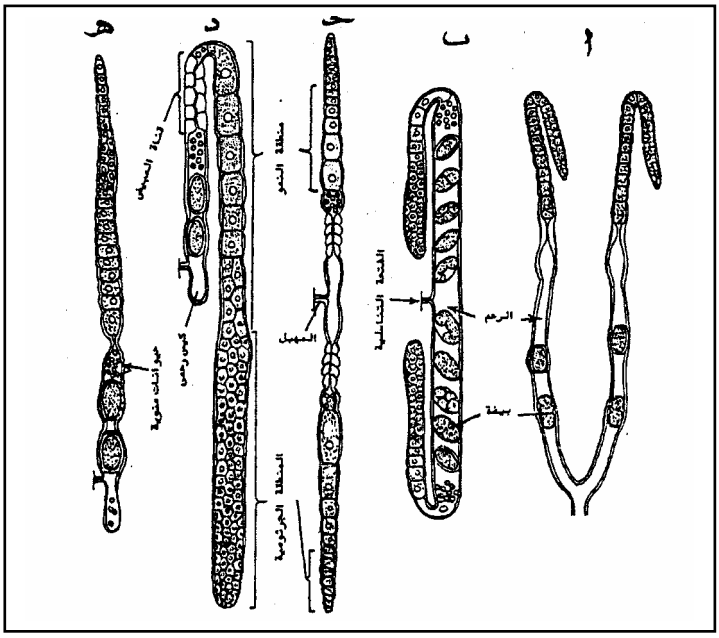
وقد تحدث تحورات في هذا الشكل، فقد يختزل أو يغيب الجزء الأمامي من القناتين الجانبيتين (أمام القناة العرضية)، وبذلك يعرف هذا الشكل بشكل مقلوب الحرف "U" (الشكل رقم ١٧ب). وفي كثير من أنواع النيماتودا النباتية كما في رتبة Tylenchida لا يوجد إلا قناة إخراجية واحدة جانبية، تمتد في أحد الحبال الجانبية أو في تجويف الجسم، وتمتلك قناة طرفية متطورة (الشكل رقم ١٧د).

الجهاز التناسلي Reproductive System

تعتبر النيماتودا ديدناً ثنائية المسكن، حيث تتميز الذكور عن الإناث، إلا أن هناك حالات قليلة تكون فيها النيماتودا خنثى Hermaphrodites. ويمكن تمييز الذكور عن الإناث بواسطة ما يعرف بالصفات الجنسية الأولية والثانوية. ومن الصفات الجنسية الأولية وجود أعضاء السفاد في الذكر مع ما يصاحبها عادة من تراكيب تناسلية ملحقة (كشوكتي السفاد، والحلمات التناسلية، والجراب التناسلي في بعض الأنواع)، أما في الأنثى فتكون الفتحة التناسلية واضحة مميزة. ومن السفات الجنسية الثانوية، التي لا يعتمد عليها دائماً، اختلاف الحجم ، فغالباً ما يكون الذكر أصغر حجماً من الأنثى، وخاصة في نيماتودا النبات، وكذلك اختلاف الشكل بين الأنثى والذكر Sexual Dimorphism، حيث تنتفخ الإناث الكاملة النمو في بعض نيماتودا النبات فتتخذ شكلاً كمثرياً، أو ليمونياً أو كرويًّا أو كلويًّا، بينما يحتفظ الذكر بشكله الأسطواني. وهذا

الشكل المنتفخ للأنثى عادة يكون مصحوباً بزيادة في حجم الجهاز التناسلي، خاصة الرحم ومنطقة النمو من المبيض، مما ينتج عنه زيادة كبيرة في إنتاج البيض.

يتشابه الجهاز التناسلي كثيراً في كل من الذكر والأنثى، إذ يتكون الجهاز أساساً من غدة أو غدتين تناسليتين Gonads تختلفان في الشكل والحجم والوضع باختلاف النيماتودا (الشكلان رقمي ١٨ ، ١٩). والغدة التناسلية (أو الغدتان) إما أن تكون مستقيمة Straight أو منعكسة Reflexed أو ملتفة Coiled.

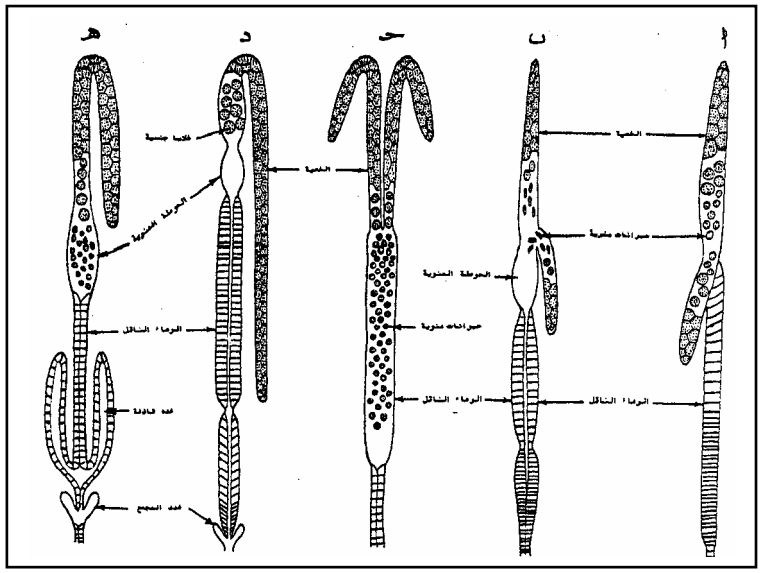


الشكل رقم (١٨). الأشكال المختلفة للجهاز التناسلي في الأنثى:
(أ) غدتان تناسليتان متجهتان للأمام ومنعكستان.
(ب) غدتان تناسليتان متضادتان في الاتجاه ومنعكستان.
(جـ) غدتان تناسليتان متضادتان في الاتجاه ومستقيمتان.
(د) غدة تناسلية أمامية منعكسة.
(هـ) غدة تناسلية أمامية مستقيمة.

(عن Hireschmann, 1971).

وإذا كانت الأنثى تحتوي على غدة تناسلية واحدة (الشكل رقم ١٨د، هـ) فيطلق على جهازها التناسلي مصطلح Monodelphic، وفي حالة وجود غدتين (الشكل رقم ١٨أ – جـ) فهو Didelphic، وفي الحالة الأخيرة إما أن تكون الغدتان متضادتين في الوضع (أمامية وأخرى خلفية) والفتحة التناسلية في الوسط Amphidelphic (الشكل رقم ١٨ب، جـ)، أو تكون كلتا الغدتين متجهتين إلى الأمام Prodelphic (الشكل رقم ١٨أ) أو إلى الخلف Opisthodelphic.

أما الذكور فإما أما يكون لها خصية واحدة متجهة إلى الأمام (الشكل رقم ١٩د، هـ)، وذلك الأكثر شيوعاً، وخاصة في نيماتودا النبات، فيطلق على الجهاز التناسلي Monorchic، أو يكون لها خصيتان Diorchic تكونان عادة متجهتين إلى الأمام (الشكل ١٩جـ) أو متضادتين في الاتجاه (الشكل ١٩أ، ب).



الشكل رقم (١٩). الأشكال المختلفة للجهاز التناسلي في الذكر:
(أ، ب) غدتان تناسليتان متضادتان في الاتجاه ومستقيمتان.
(جـ) غدتان تناسليتان متجهتان إلى الأمام ومنعكستان.
(د) غدة تناسلية أمامية منعكسة.
(هـ) غدة تناسلية أمامية مستقيمة.

(عن Hirachmann, 1971).

وتعتبر الغدة التناسلية في معظم أنواع النيماتودا من نوع Tologonic ، حيث يتم تكاثر الخلايات الجرثومية في الطرف النهائي للغدة. وتبطن الغدة التناسلية في كلا الجنسين بطبقة من الخلايا الطلائية التي تغطي الخلايا الجرثومية وتشكل قنوات الغدة.

أولاً : الجهاز التناسلي في الأنثى Female Reproductive System

تتكون الغدة التناسلية في الأنثى من مناطق متميزة (الشكل رقم ٢٠) وتتألف، حسب ترتيبها من الطرف النهائي، من الآتي :

١ - المبيض Ovary

وهو غدة إسطوانة تقوم بإنتاج البيض ويمكن تقسيمها إلى منطقتين :

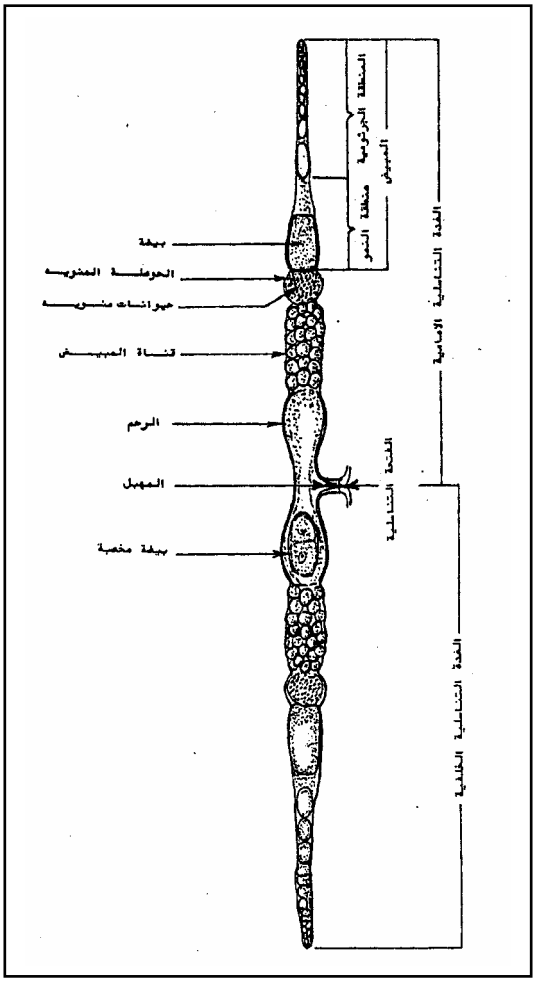
أ) المنطقة الجرثومية Germinal Zone: وهي قسم قصير يحتل الطرف النهائي من المبيض، تحتوي على خلايا جنسية صغيرة الحجم تسمى في هذه المرحلة بالبويضات الأولية Oogonia يحدث لها انقسامات سريعة.

ب) منطقة النمو Growth Zone: وهي منطقة طويلة نوعاً ما (قد تكون أطول من جسم النيماتودا في بعض الأنواع)، وفيها يزداد تدريجيًّا حجم الخلايا الجنسية والتي تسمى في هذه المرحلة بالخلايا البيضية Oocytes.

٢ - قناة المبيض Oviduct

وهي أنبوبة ضيقة تقع بين المبيض والرحم، وتتميز بجدار سميك يتكون من خلايا طلائية عمودية Columnar Cells ، ويختلف طولها كثيراً باختلاف النيماتودا.

وفي بعض الأنواع ينتفخ الجزء الواقع بين قناة المبيض والرحم ليشكل قابلة منوية Spermatotheca (or seminal receptacle) ، حيث تُخزن أعداد كبيرة من الحيوانات المنوية وفيها يتم الإخصاب ، وإذا لم يكن هناك قابلة منوية قام الجزء الأمامي من الرحم (المتاخم لقناة المبيض) بوظيفتها.



الشكل رقم (٢٠). تركيب الجهاز التناسلي في الأنثى.

(عن Ayoub, 1980).

٣- الرحم Uterus

عبارة عن أنبوبة عريضة مبطنة بنسيج طلائي منبسط أو مكعبي Cuboid، وقد تكون محاطة بطبقة من ألياف عضلية، إلا أن هذه العضلات تكون ضعيفة التكوين في نيماتودا النبات. ويقوم الجزء الأمامي من الرحم بوظيفة القابلة المنوية في حالة عدم وجودها كما ذكرنا آنفاً، كما يقوم الرحم بتغليف البيض بعد إخصابه بالقشرة الخارجية.

وللنيماتودا ذات الغدة التناسلية الواحدة Monodelphic كيس رحمي Postvulvar Uterine sac، وهو عبارة عن امتداد صغير في نهاية الرحم، يستعمل لخزن الحيوانات المنوية.

٤- المهبل Vagina

ينتهي الرحم أو الرحمان في أنبوبة واحدة مشتركة هي المهبل. والمهبل أنبوبة قصيرة مبطنة من الداخل بالكيوتيكل ومزودة بعضلات لدفع البيض إلى الخارج من خلال الفتحة التناسلية.

٥- الفتحة التناسلية Vulva

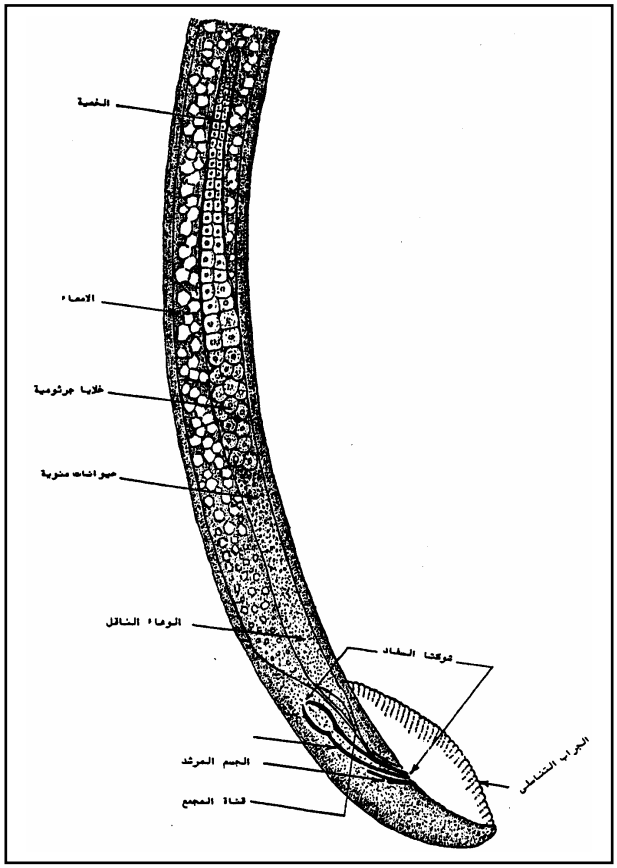
وهي عبارة عن شق عرضي في الجهة البطنية تقع عادة في الثلث الأوسط من الجسم، أو في نهايته بالقرب من فتحة الشرج في حالة الإناث المنتفخة، كإناث نيماتودا تعقد الجذور والحوصلات. والفتحة التناسلية مزودة بتركيب عضلي خاص يتحكم في فتحها عند وضع البيض.

ثانياً : الجهاز التناسلي في الذكر Male Reproductive System

تتكون الغدة التناسلية في الذكر عادة من المناطق الثلاث التالية (الشكلان رقما ١٩ ، ٢١):

١ - الخصية Testis

وهي غدة أسطوانية تقوم بإنتاج الحيوانات المنوية. ويمكن تقسيم الخصية – كما في المبيض – إلى منطقتين: منطقة جرثومية تقع في طرف الخصية، وفيها يحدث انقسام الخلايا الجنسية، تليها منطقة النمو حيث يتم في نهايتها نضج الحيوانات المنوية Spermatozoa.



الشكل رقم (٢١). تركيب الجهاز التناسلي في الذكر وملحقاته. (عن Ayoub, 1980).

٢- الحوصلة المنوية Seminal Vesicle

وهي تلي الخصية، وتمثل الجزء الأمامي والواسع من قناة الغدة التناسلية، وفيها يتم تخزين الحيـــوانات المنويـــة مؤقتاً. وقد يوجد في بعض الأجناس، كالأسكارس مثلاً، ما يعرف بالوعاء المخرج Vas Efferens، وهو عبارة عن جزء أنبوبي يصل منطقة النمو من الخصية بالحوصلة المنوية.

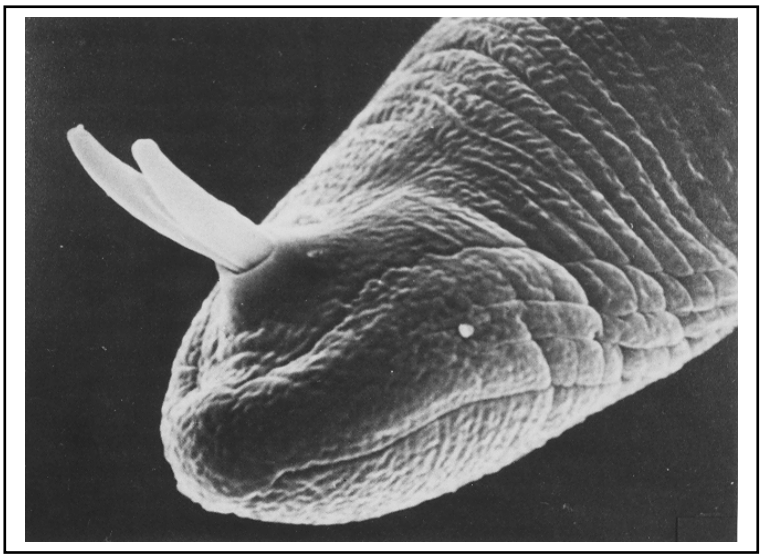
٣- الوعاء الناقل Vas Deferens

وهو يلي الحوصلة المنوية، ويمثل الجزء الرئيس لقناة الغدة التناسلية، ويتكون عادة من منطقتين: أنبوبية وغدية. ويكون مزوداً بعضلات تشمل كامل الوعاء أو جزءه الخلفي فقط، وفي هذه الحالة الأخيرة يُزوّد هذا الجزء بقناة قاذفة Ejaculatory Duct تفتح في المجمع وتعمل على قذف الحيوانات المنوية إليه. وقد تكون هذه القناة مزودة بغدد قاذفة تفرز مواد لاصقة خلال عملية السفاد. وتتحد نهاية الوعاء الناقل مع نهاية القناة الهضمية – كما ذكرنا آنفاً – وتتكون بذلك قناة المجمع التي تفتح في فتحة المجمع.

تتميز ذكور نيماتودا النبات في طائفة Secernentea بوجود خصية واحدة، ما عدا ذكور نيماتودا تعقد الجذور التي تمتلك خصية أو خصيتين متجهتين إلى الأمام ومشتركتين في وعاء ناقل واحد. وتتكون حالة الخصيتين هذه نتيجة لعملية التحول الجنسي Sex Reversal التي تحدث تحت تأثير ظروف بيئية غير ملائمة تمر بها النيماتودا في أثناء نموها. أما ذكور نيماتودا النبات في طائفة Adenophorea فهي تمتلك خصيتين في اتجاهين متعاكسين تشتركان في وعاء ناقل واحد، ويستثنى من ذلك نيماتودا تقصف الجذور التي تمتلك خصية واحدة فقط.

ويلحق بالجهاز التناسلي في الذكر عدد من التراكيب الخاصة (الشكل رقم ٢١) التي تساعد في عملية السفاد وهذه الملحقات تشمل الآتي:

ا) شوكتا السفاد Spicules: يختلف شكلهما وحجمهما باختلاف النوع، إلا أنهما تتكونان من الداخل من لب سيتوبلازمي يحيط به من الخارج طبقة من الكيوتيكل المتصلب (الشكل رقم ٢٢). وشوكتا السفاد مزودتان بعدد من العضلات والأعصاب الخاصة، ويعتقد أن الشوكتين تعملان على اتساع الفتحة التناسلية والمهبل في الأنثى أثناء عملية السفاد، وليس لهما دور في نقل الحيوانات المنوية.

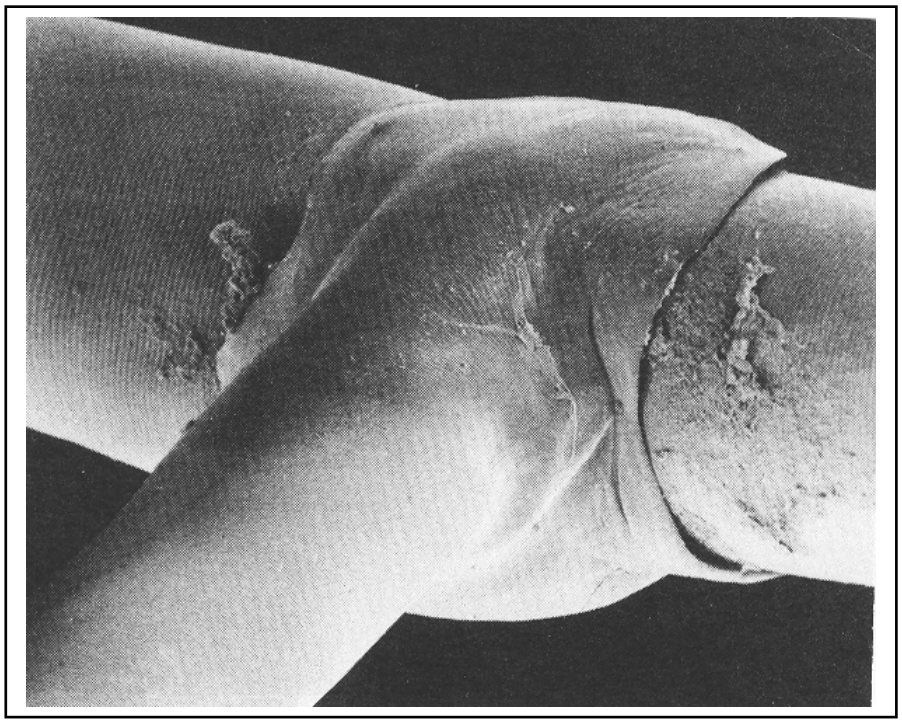


الشكل رقم (٢٢). صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) توضح شوكتي السفاد في ذكر نيمانودا تعقد الجذور وهما بارزتان إلى الخارج من خلال فتحة المجمع.

(عن Wergin, 1981).

ب) الجسم المرشد Gubernaculum: يصاحب شوكتي السفادة عادة، وهو عبارة عن تصلب في الجدار الظهري لجيب الشوكتين (الشكل رقم ٢١)، ويقوم بتوجيه حركة الشوكتين، ولذلك فهو يحمي جدار المجمع منهما.

جـ) الجراب التناسلي (غشاء السفاد) Bursa: يوجد في ذكور بعض الأنواع، وهو عبارة عن تحور في طبقة الكيوتيكل في منطقة الذيل (الشكل رقم ٢١)، ويقوم بالمساعدة أثناء عملية السفاد (الشكل رقم ٢٣).



الشكل رقم (٢٣). صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) توضح النصاق وإحاطة الجراب التناسلي لذكر نيماتودا *Oesophagostomum* sp. (من رتبة Strongylida) حول جسم الأنثى أثناء عملية السفاد.

(عن Poinar, 1983).