الفصل السابع

سمات أخرى للكيمياء الحلقية الضخمة

Other Aspects of Macrocyclic Chemistry

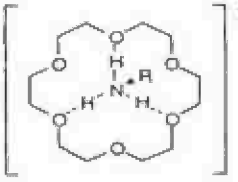
(٧,١) ترابط الكاتيونات العضوية

Binding of organic cations

إلى الآن، افترضنا أن الكيمياء التناسقية قاصرة على الكاتيونات اللا عضوية. كما أعلنا أيضاً أن تفاعل أيونات معادن المجموعة الأولى مع الإثيرات التاجية والكريبتاندات لها مكوّن إلكتروستاتيكي هام، و هذا يقترح بأن الكاتيونات العضوية مثل أيونات الأمونيوم ربما تكون أيضاً مرتبطة بالمرتبطات الحلقية الضخمة.

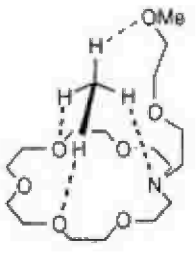
كما أن هناك إمكانية بالأيونات مثل $[NH_2]^+$، $[RNH_3]^+$ و $[R_2NH_2]^+$ لتشكيل روابط هيدروجينية إلى المانحات المناسبة. وفي الحقيقة، وجدت الإثيرات التاجية أنها تشكل متراكبات مع هذه الأيونات التي تحدد فيها الروابط الهيدروجينية الموجهة مكانياً الخاصية (النوعية). مع ١٨-تاج-٦، يمكن أن تشارك ثلاث ذرات أكسجين في الرابطة الهيدروجينية إلى كاتيونات $[NH_4]^+$ أو $[RNH_3]^+$ (الشكل رقم ٧,١)[١]. إن المتراكبات

(١)

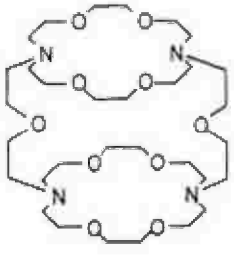


الشكل رقم (٧,١). ترابط أيون الأمونيوم إلى ١٨-تاج-٦.

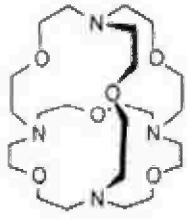
مستقرة جداً وقد تفصل في حالة صلبة أو كنوع محلول. ولثوابت الاستقرار المحددة بالنسبة لمتراكبات أيونات الأمونيوم مع ١٨-تاج-٦ قيم lg K في حدود 4 ([NH4]I، lg K=4.27؛ [MeNH3]I، lg K=4.25؛ [EtNH3]I، lg K=3.99؛ [PhNH3]Br، lg K=3.80). إنها ممكنة حتى لاستعمال مستقبلات الرابطة الهيدروجينية الإضافية في السلاسل الجانبية لتجهيز موقع ربط رابع لكاتيون $[NH_4]^+$، **7.1**. والتمديد البسيط إلى ثنائي (تاج) إثيرات مثل **7.2** يسمح بترابط أيونات الأمونيوم المتعدد polyammonium المهم حيوياً للنوع $[H_3N(CH_2)_nNH_3]^{2+}$.



(7.1)



(7.2)

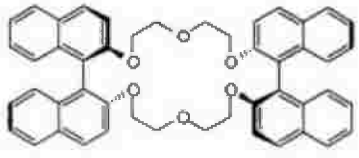


(7.3)

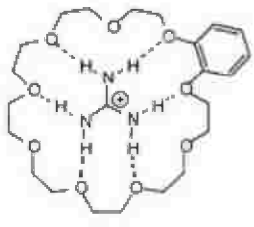
وتم تخيّل المرتبطات ثلاثية الأبعاد فيما مضى، وإمكانيتها لتصميم مرتبط تكبسل للكاتيون $[NH_4]^+$ إلى حد أنه تكون كل الروابط الهيدروجينية حلقية داخلية (داخل الحلقة endocyclic). وينجز هذا في المرتبط **7.3** المعروف *بالإسفيراند* (*بالكروي*)

spherand والذي رُبط (قيّد) $[NH_4]^+$ داخل التجويف (الشكل رقم ٧.٢)[٢]. وليس من الضروري استعمال ذرات نتروجين كمستقبلات للرابطة الهيدروجينية ويربط أيضاً الكريبتاند [2.2.2] أيونات الأمونيوم. بشكل مثير للانتباه، يكون ترابط $[NH_4]^+$ أقل وضوحاً بالضبط عنه مع **7.3** ويستطيع الكاتيون الدوران داخل تجويف الكريبتاند.

إن الإثيرات التاجية والكريبتاندات قيد البحث للترابط الانتقائي ونقل مركبات الأمونيوم بنفس الطريقة المستعملة لأيونات معادن المجموعة الأولى والثانية. ويشاهد أحد التطبيقات الاستثنائية في ترابط انتقاء الإنانتيومر (المتماثل) enantioselective لأحد إنانتيومرات أملاح الأمونيوم الكيرالية $[R^{(٣)}\ NH_3]^+$ (حيث [٤] R هو الألكيل الكيرالي المتبقي) بمشتقات الإثير التاجي الكيرالي مثل **7.4**.



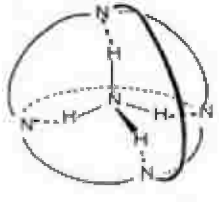
(7.4)



(7.6)

وقد ترتبط أيضاً الكاتيونات الأخرى بالمرتبطات الحلقية الضخمة وهذه مساحة استثنائية من الكيمياء التناسقية من المحتمل زيادتها في المستقبل. وتتضمن تلك الأمثلة

(٢، ٣، ٤)



الشكل رقم (٧.٢). ترابط 7.3 إلى أيون الأمونيوم.

النموذجية لتفاعلات ربط هيدروجين لـ $[H_3O]^+$ مع 7.5 [٥] التي تشارك فيها ثلاث ذرات أكسجين في الرابطة الهيدروجينية ومتراكب جوانيدينيوم 7.6 guanidinium مع بنزو-٢٧-تاج-٩ benzo-27-crown-9.

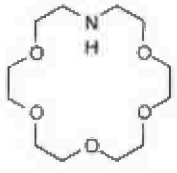
(٧,٢) ترابط الأنيونات
Binding of anions

من الممكن أيضاً توسيع تعريفنا للكيمياء التناسقية لتشتمل على تصميم المرتبطات للأنيونات. ومرة أخرى تعتمد التفاعلات الأساسية التي سنستعملها على الرابطة الهيدروجينية. ومع ذلك، بالمقارنة مع ترابط الكاتيونات العضوية، حيث يعمل المرتبط كمستقبل رابطة الهيدروجين والضيف كمانح رابطة الهيدروجين، والوضع يكون معكوساً عادةً في ربط الأنيون. علاوة على ذلك، من أجل زيادة التفاعلات الإلكتروستاتيكية إلى الحد الأعلى سيكون من المفيد أن تمتلك عوائل كاتيونية وتلبي أملاح الأمونيوم المتعدد الحلقية (بمعنى آخر، حلقات الأزا المتعددة polyaza الضخمة المبرتنة والكريبتاندات) هذه المتطلبات.

وسوف يكون العائل المثالي للأنيونات أحادية الذرة البسيطة مثل الكلوريد كروياً، ويوجد المثال الجيد بالمرتبط **7.3**. يعمل هذا المرتبط كمستقبل رابطة الهيدروجين وتتشكل أربع روابط هيدروجينية مع $[NH_4]^+$. ومع ذلك، في شكله المبرتن من $[H_4\mathbf{7.3}]^{4+}$

---

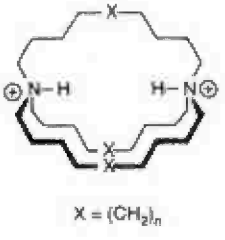
(٥)



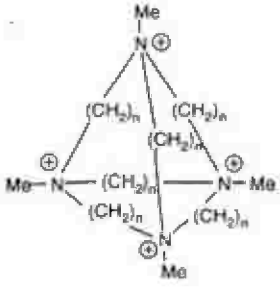
(7.5)

يعمل كمانح رابطة هيدروجينية ويربط أيون الكلوريد. وقد تستعمل عوائل أكثر بساطة وأمثلة نموذجية تتضمن 7.7 و7.8.

ويكون من المحتمل تصميم مرتبطات بانتقائية لأيونات الهاليد الخاصة التي تعتمد على أولويات تناسقها. والكريبتاند 7.9 قد يكون مبرتن سداسياً hexaprotonated عند الأمينات الثانوية ويشكل الكاتيون السداسي متراكبات بنسبة 1:1 مع أنيونات الفلوريد، الكلوريد، والبروميد. إن هندسة التناسق حول أيونات البروميد والكلوريد الأكبر تكون ثمانية الأوجه بست روابط هيدروجين متصلة بين أيون الهاليد والأمونيوم N-H. كما أن أيون الفلوريد الأصغر يربط الهيدروجين فقط إلى إجمالي مجموعات N-H الأربعة، ثلاثة من أحد الأطراف وواحد من الطرف الآخر للكريبتاند (الشكل رقم ٧.٣).

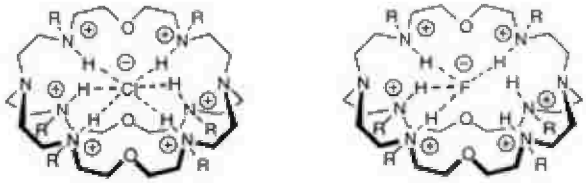


(7.7)



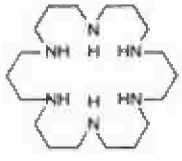
(7.8)

للكريبتاند 7.9 [٦] الشكل المطوّل (المستطال) elongated الذي يستمر بعد البرتنة السداسية، وقد يكون من الممكن ربط الأنيونات الخطية وظهر هذا بوضوح من قبل التكوين لناتج جمعي 1:1 adduct الذي يربط فيه أنيون الأزيد N_3^- داخل التجويف.

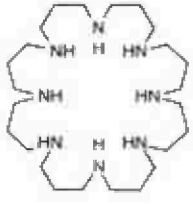


الشكل رقم (٧.٣). ترابط أيونات الكلوريد والفلوريد داخل تجويف الكريبتاند 7.9.

تم تركيز الاهتمام الخاص على التمييز الجزيئي وترابط الكربوكسيلات والفوسفاتات ومرتبطات متعددة صُمِّمت لتحسين تفاعلاتها مع هذه الأنيونات. وأثبتت الكاتيونات المشتقة من حلقات الأزا المتعدد الضخمة مثل 7.10 و 7.11 لتكون فعالة في ربط المدى لمثل هذه الأنيونات.



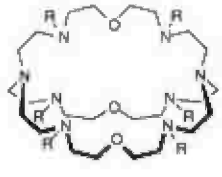
(7.10)



(7.11)

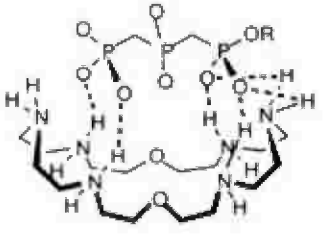
---

(٦)

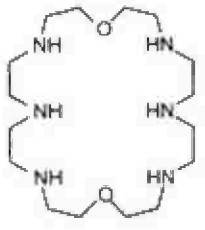


(7.9)

كان من الممكن حتى استعمال ربط الفوسفات إلى الحلقات الضخمة لهذا النوع لتطوير الحفازات لتمييز ثلاثي فوسفات الأدينوسين (ATP)، عملية الاهتمام الواضح في تعزيز فهمنا لعمليات نقل الفوسفوريل phosphoryl الحيوي. لقد أثبت الشكل المبرتن سداسياً من تاج الأزا 7.12 ليكون حفازاً فعالاً لتمييز ثلاثي فوسفات الأدينوسين والفوسفاتات المتعددة الأخرى. ومن المعتقد أن الحلقة الضخمة تلعب عدداً من الأدوار؛ أولها: الروابط الهيدروجينية من مجموعات الأمونيا إلى ذرات أكسجين الفوسفات تخدم كل من ربط الفوسفات، وتنشيط المرتبط نحو الهجوم النيوكليوفيلي ولربطه في شكل إلى حد أن الهجوم بإحدى ذرات نتروجين المرتبط يصبح محتملاً. ويعطى المنظر التخطيطي للفوسفات المرتبط في 7.13 (وتم حذف الشحن للوضوح).



(7.13)



(7.12)

(٧.٣) الحفز الحيوي بالمتراكبات الحلقية الضخمة

Biocatalysis by Macrocyclic Complexes

أدت الاستقرارية الحركية والديناميكية الحرارية العالية للمتراكبات الحلقية الضخمة من المعادن الانتقالية إلى اهتمام كبير في استعمالها كحفازات بشكل خاص، تقدم مرتبطات مثل السيكلام الفرصة لضبط خواص الأكسدة والاختزال للمراكز المعدنية خلال

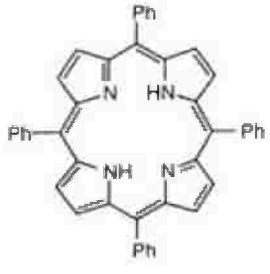
استبدال المرتبط وتترك موقعين محورين أيضاً متوفرين لترابط الركائز.

تعتمد عمليات الحفز العديدة على متراكبات معادن انتقالية للفرفرين ومرتبطات الفيثالوسيانين الموصوفة. إن هذه المتراكبات مهمة خصوصاً في تفاعلات الأكسدة المتضمنة ثنائي أكسجين جزيئي أو عوامل أكسدة بسيطة أخرى وفي أحيان كثيرة جداً تتضمن متراكبات الحديد، والمنجنيز أو الكوبالت. وقد تم توجيه معظم هذا العمل مباشرةً نحو فهم عمل الفرفرينات في الأنظمة الحيوية.

سوف تخدم بضعة أمثلة من الأنظمة الحفزية المشيدة لتأكيد فائدة مرتبطات الفرفرين. إن تشكيلة متراكبات فرفرين الحديد ضمن أنظمة بسيطة جداً مثل [Fe(tpp)Cl] (tpp= ميزو- تترافينيل فرفرين) [٧] تكون فعالة في أكسدة الألكانات، الألكينات أو الأرينات باستعمال PhIO كمؤكسد أولي primary oxidant. تتحول الألكانات أولياً إلى كحولات بينما تعطي الألكينات مخاليط من الإيبوكسيدات epoxides والكحولات الأليلية allylic. ويعتقد أن الخطوة المفتاح في التفاعل كانت تحويل المادة البادئة الحديد (III) إلى نوع أكسو الحديد (V) التقليدي (فعلياً كاتيون فرفرين الحديد (IV)) (المعادلة رقم ٧.١).

$$[Fe^{III}(L)Cl] + PhIO = [Fe^{IV}(L^{+})] + PhI \qquad (٧.١)$$

(٧)



meso-tetraphenylporphyrin

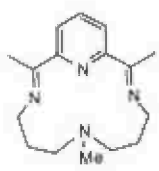
إن التفاعلات المناظرة مع فرفرينات الموليبدنيوم (V) والمنجنيز (III) معروفة أيضاً.

كما استعمل عدد من المرتبطات الأبسط في محاولات لإعادة إنتاج حفز حيوي، وستعطى بضعة أمثلة هنا. أما الأمثلة الإضافية فستكون في متن كتاب *الكيمياء التناسقية الحيوية Biocoordination Chemistry*. ويحفز إنزيم الأنهيدراز الكربوني إماهة (ثميؤ) ثاني أكسيد الكربون (المعادلة رقم ٧.٢) ويكبح (يحتوي) الزنك (II) عند الموقع النشط. ويعتقد أن عدد تناسق الزنك يتفاوت بين أربعة وخمسة في دورة الحفز وأحد المرتبطات هو جزيء الماء الذي يتبرتن مع pK_a تقترب إلى سبعة تحت ظروف فسيولوجية.

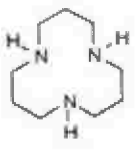
$$CO_2 + H_2O = HCO_3^- + H^+ \qquad (٧.٢)$$

ويتم الحصول على متراكبات المرتبط **7.14** [٨] من تكثيف معياري ٢,٦-ثنائي أسيتيل بيريدين مع $H_2N(CH_2)_3NMe(CH_2)_3NH_2$ في وجود الأيونات المعدنية. ويحتوي متراكب الزنك $[Zn(\mathbf{7.14})(H_2O)]^{2+}$ على مركز زنك خماسي التناسق مع جزيء ماء محوري. وpK_a لجزيء الماء المتناسق يشبه تقريباً ذاك من الميتالوإنزيم (الإنزيم المعدني) metalloenzyme ويعرض المتراكب نشاطاً حفزياً متواضعاً جداً للتفاعل في المعادلة رقم (٧.٢). واستعملت أيضاً متراكبات الزنك للحلقة الضخمة **7.15** كنماذج للموقع النشط للأنهيدراز الكربوني، وعلى الرغم من أنها ليست فعالة خصوصاً بالنسبة لتفاعل التميؤ

(٨)



(7.14)



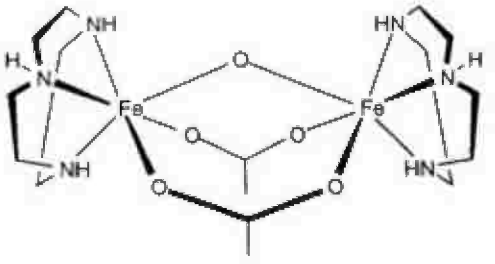
(7.15)

(الإماهة) إلا أنها تعيد إنتاج عدداً من الميزات الديناميكية المرتبط بالتغير في عدد التناسق من أربعة إلى خمسة، وتتفاعل أيضاً مع الثيوسيانات SCN^-. ويستعمل هذا الأيون الأخير كثيراً كنموذج لثاني أكسيد الكربون كما أنه يمتلك نفس الهندسة الخطية.

وقد قدم تركيب فيتامين B_{12} في الفصل الثاني. في وقت توضيحه الهيكلي كان الاعتقاد الرائع أن متراكب الكوبالت (III) يستطيع تشكيل روابط Co-C مستقرة في المحلول المائي تحت ظروف فسيولوجية. وكان الاعتقاد أن المرتبط الحلقي الضخم مهم وحضرت متراكبات كوبالت (III) حلقية ضخمة كثيرة في محاولات لإعادة إنتاج هذا السلوك. وقد أثبتت الدراسات أن تلك الحلقات تكون ناجحة جداً على الأصح- فالأغلبية الواسعة من المرتبطات الحلقية الضخمة قادرة على إعطاء متراكبات تحتوي على روابط Co^{III}-C مستقرة، لكن عند التفكير بما حدث في السابق يظهر أن الغالبية من المرتبطات اللاحلقية قادرة أيضاً على مثل هذا الاستقرار (الترسيخ). وبرغم ذلك، هناك تشكيلة هائلة من المشتقات الحلقية الضخمة المحتوية على مراكز كوبالت (III) عضو معدنية التي تُعيد إنتاج بعض المميزات لفيتامين B_{12}.

إن كل من الهيميريثرين hemerythrin والهيموسيانين hemocyanin هما بروتينات ناقلة ثنائي الأكسجين موجودة في الأنواع المختلفة من اللا فقريات. تحتوي مواقع ترابط ثنائي الأكسجين على مركزين حديد أو نحاس على التوالي. وبذل الجهد الكبير في تحضير متراكبات ثنائية النوى النموذجية التي تُعيد إنتاج الخواص الطيفية (إذا لم تكن كيميائية) لهذه البروتينات المعدنية. والبعض من النماذج الأكثر نجاحاً استعملت المرتبط البسيط جداً ثلاثي أزاسيكلونونان tricyclononane، ويعرض الشكل رقم (٧،٤) متراكب حديد ثنائي النوى لهذا المرتبط الذي يُعيد إنتاج العديد من الميزات الهيكلية للهيميريثرين. إن الميزات الرئيسة هي وجود جسري مرتبطات كربوكسيلات سوياً مع جسر مرتبط أكسو. ويقدم العمل الأكثر حداثة مع ثلاثي أزاسيكلونونان نماذج لمدى من بروتينات

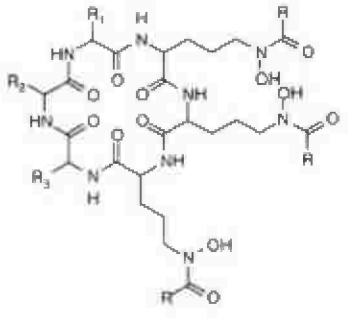
معدنية حديد ونحاس أخرى. ووجد لبعض مشتقات ثلاثي أزاسيكلونونان تطبيقات تجارية كمرتبطات في حفازات أكسدة أساسها منجنيز.



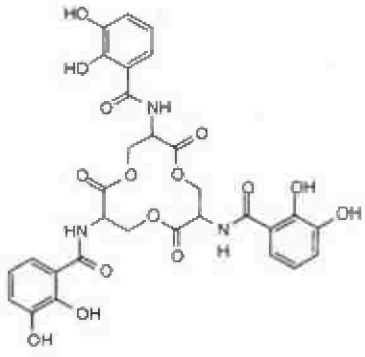
الشكل رقم (٧,٤). متراكب ثلاثي أزا سيكلونونان الذي يُعيد إنتاج ميزات الموقع النشط للهيميريالورين.

وتنهي هذا الجزء بملاحظة عدد من العمليات الحيوية الإضافية التي تشترك فيها متراكبات معدنية للمرتبطات الحلقية الضخمة؛ لأن العديد من العمليات الحيوية تتضمن متراكبات حديد، وتطورت آليات معقدة (متطورة) جداً للتحكم في أيض الحديد iron metabolism. وطورت بعض البكتريا الهوائية aerobic مرتبطات فعالة جداً المعروفة *بالحاملات الحديدية* *siderophores* لربط الحديد. إن متراكبات الحديد (III) لهذه المرتبطات تكون مستقرة جداً (lg K > 30). والكرومات الحديدية ferrichromes هي واحدة من صنف الحامل الحديدي، وتتكوّن من حلقة ثمانية عشر عضوا من حلقات ببتيد صغير oligopeptide ضخمة متصلة بذيل بمجموعات الهيدروكسامات hydroxamate. وترتبط بمجموعات الهيدروكسامات الثلاثة المرتنة الحديد كحديد (III) ويكون فعالاً جداً بحيث تستطيع البكتريا أن تستخلص حديداً من الحديد المقاوم للصدأ. ويستعمل المرتبط الحلقي الضخم المختلف المسمى إنتروباكتين (الباكتين المعوي) enterobactin من قبل البكتريا المعوية enteric bacteria. مرة ثانية تقدم الأحماض الأمينية التركيب الحلقي الضخم، لكن في الإنتروباكتين يرتبط الحديد بثلاثة مستبدلات كاتيكول. لهذا المركب

أعلى ثابت ترابط معروف بالنسبة للحديد (III) بقيم lg K في حدود ١٥٢، ولأن القلب الحلقي الضخم يُشتق من أحماض أمينية (كيرالية)، فقد حددت سابقاً الكيمياء الفراغية المطلقة عند المركز الفلزي (Δ أو Λ). وتعطي الإنتروباكتين المُحدث طبيعياً متراكب الحديد Δ.



ferrichrome



enterobactin

(٤.٧) ملاحظات ختامية

Concluding Remarks

لقد أعطى هذا الكتاب نظرة عامة لا أكثر عن الكيمياء التناسقية الحلقية الضخمة. وتم إعطاء بعضاً من دلالة سلسلة المرتبطات التي تم دراستها سوياً مع الميزات الرئيسة الهيكلية وكيمياء تفاعل المتراكبات التي تشكلت. وفي كافة أنحاء الكتاب، تم مناقشة تطبيقات متنوعة بإيجاز على الرغم من عدم تجميع هذه معاً في فصل واحد.

والإمكانية الحقيقية للكيمياء الحلقية الضخمة هي حالياً في طور التعزيز. إن الاستراتيجيات التشييدية الأساسية راسخة جيداً والكيمياء التناسقية مفهومة جيداً. يتعلق معظم الجهد الحالي بتحسين الخواص الهامة وصناعة الأدوات التي تدمج المرتبطات الحلقية الضخمة.

هل تختلف الكيمياء الحلقية أي اختلاف عن المساحات الأخرى من الكيميـــاء التناسقية؟ من المحتمل لا– لكنها كانت المسؤولة عن التغير في الطريقة التي يفكـــر بهـــا كيميائيو اللا عضوية بشأن هذا الموضوع.

وكما قلت في البداية، الكيمياء الحلقية الضخمة مرحة قبل كل شيء.

القراءة الإضافية
Further Reading

إن الكتب والدراسات المدرجة أدناه تحتوي على حسابات جيدة عـــن الكيميـــاء التناسقية الحلقية الضخمة. وتحتوي معظم الكتب المعاصرة للكيمياء اللا عضوية أو الـــلا عضوية الحيوية أيضاً على فصول أو أجزاء هامّة على المرتبطات الحلقية الضخمة.

Bernal, I. ed. *Stereochemical and Stereophysical Behaviour of Macrocycles,* Elsevier, Amsterdam. (1987).

Black, D.St.C. Chapters 7.4 and 61.1 in *Comprehensive Co- ordination Chemistry,* eds. G. Wilkinson, R.D. Gillard and J.A. McCleverty, Pergamon, Oxford. (1987).

Constable, E.G.. *Metals and Ligand Reactivity,* VCH, Weinheim. (1995).

Dietrich, B., Viout, P., and Lehn, J.-M. *Macrocyclic Chemistry,* VCH, Weinheim. (1993).

Fenton, D. *Biocoordination Chemistry,* Oxford University Press, Oxford. (1995).

Gutsche, C.D. *Calixarenes,RSC,* Cambridge. (1989).

Gokel, G.W. *Crown Ethers and Cryptands,* RSC, Cambridge. (1991).

de Sousa Healy, M. and Rest, A.J. *Adv. Inorg. Chem. Radiochem.*, 21, 1. (1978).

Henrick, K., Tasker, P.A., and Lindoy, L.F*Progr. Inorg. Chem.*, 33, 1. . (1985).

Lehn, J.-M. *Supramolecular Chemistry,* VCH, Weinheim. (1995).

Lindoy, L.F. *The Chemistry of Macrocyclic Ligand Complexes* Cambridge University Press, Cambridge. (1989).

Izatt, R.M., Christensen, J.J. eds. *Synthetic Multidentate Macrocyclic Compounds,* Academic Press, New York. (1978).

Melson, G.A. ed. *Co-ordination Chemistry of Macrocyclic Compounds,* Plenum, New York. (1979).

Newkome, G.R. ed. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II,,* Vol. 9. Elsevier, Oxford. (1997).

Parker, D. Macrocycle Synthesis, A Practical Approach. OUP, Oxford, 1996. (1996).

Vögtle, F. and Weber, E. *Host Guest Complex Chemistry,* Springer, Berlin. (1985).

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي – إنجليزي

أ

إثيرات تاج أزا	azacrown ethers
إثيرات متعددة	polyethers
اختزال	reduction
اختلال التناسب	disproportionate
إرسال عصبي	neurotransmission
آزا	aza
آزيد	azide
استبدال محوري	axial substitution
أسيلة، إضافة مجموعة أسيل	acylation
إضافة فلز	metallation
إعادة ترتيب	rearrangement
أكريلونيتريل	acrylonitrile

redox	أكسدة واختزال
π-oxo	أكسو-π
photoresponsive	الاستجابة الضوئية
enteric bacteria	البكتريا المعوية
cyclen	السيكلين
molecular hosts	العوائل الجزيئية
alkalide	القلويد
electrides	إلكتريدات
ferrichromes	الكرومات الحديدية
cryptand	الكريبتاند
alkylation	ألكلة
biomimetic	المحاكاة الحيوية
oligomers	اليغمرات أو أوليقومرات (بوليمرات صغيرة)
softer	ألين
aminobenzaldehyde	أمينو بنزالدهيد
aminol	أمينول
enantiomer	إنانتيومر، متماثل
enterobactin	إنتروباكتين، الباكتين المعوي
entropy	أنتروبي (درجة التعادل الحراري)
enantioselective	انتقاء الإنانتيومر
antimony	أنتيموني
stoichiometry	انضباط نسب الذرات
reversibility	انعكاسية، معكوسية

carbonic anhydrase	أنهيدراز كاربوني
anionic	أنيوني
metabolism	أيض
imidazole	إيمدازول
sodide ion	أيون الصوديد
ammonium ions	أيونات الأمونيوم
Zinti ions	أيونات زينتل

ب

oligopeptide	ببتيد صغير
protoporphyrin	برتوبورفرين
heme (haem) proteines	بروتينات الهيم
bromination	برومة ، إضافة بروم
aerobic	بكتريا هوائية
dimerization	بلمرة ثنائية الجزيئات ، تشكيل ثنائي الجزيئات
oligomerization	بلمرة صغيرة (أوليقومرة أو أوليغمرة)
benzaldehyde	بنزالدهيد
benzo	بنزو
purple benzene	بنزين أرجواني
porphyrin	بورفرين
trimer	بوليمر ثلاثي الجزيئات
peroxo	بيروكسو

بيروكسيد	peroxide
بيرول	pyrrole
بين الحلقية	interannular

ت

تأثير الانتقال	trans effect
تأثير الحلقية الضخمة	macrocyclic effect
تأثير ثرموديناميكي معياري	thermodynamic template effect
تأثير مخلبي	chelate effect
تأثير معياري	template effect
تأرجح- الكلوريد	chloride-swing
تبادل معدني أو فلزي	metal-exchange
تجريد، تقشير	peeling of
تجزئة، تشظية	fragmentation
تجويف	cavity
تخالب	chelating
ترابط الأنيون	anion binding
تراكب	complexation
تسمية	nomenclature
تشكيل غير عكسي	irreversible formation
تشوش	perturb
تعدين حراري	pyrometallurgy

hydrometallurgy	تعدين مائي
intramolecular reaction	تفاعل في ذات الجزيء
capping reactions	تفاعلات الغطاء أو التغطية أو القبعة
template reactions	تفاعلات معيارية
encapsulating	تكبسل، تغليف
quantization	تكميم أو تكمية
phosphate hydrolysis	تميّؤ الفوسفات
tighter fit	توافق أشد
functionalization	توظيفي

ث

octaheral	ثماني الأوجه
dioxygen	ثنائي الأكسجين
dinuclear	ثنائي النواة
thia	ثيا
thiol	ثيول

ح

siderophores	حاملات حديدية
ring size	حجم الحلقة
calorimetric	حراري، كالوريمتري
tetraazamacrocycles	حلقات رباعي الأزا الضخمة

حلقة ضخمة أو كبيرة	macrocycle
حلقة كرتيس الضخمة	Curtis macrocycle
حلقية داخلية ، داخل الحلقة	endocyclic

خ

خارج الجسم	in vitro
خارج الحلقة	exocyclic
خارصين أو زنك	zinc

د

دايول	diol
ديناميكا حرارية أو ثرموديناميكية	thermodynamics

ذ

ذراع مُعلق أو متدل	pendant arm

ر

روتاكسان	rotaxane

س

سبولكرات	sepulchrate
سنِّية	denticity

superperoxo	سوبربيروكسو
cyclam	سيكلام

ض

photochemical	ضوئي كيميائي

ط

prototype	طراز بدائي أو أولي

ع

host	عائل
high-spin	عالي المغزلية
immiscible	عديم الامتزاج، غير قابل للامتزاج
radiotherapy	علاج بالأشعة
catalytic processes	عمليات الحفز

غ

lacunar	غور، غائر
labilized	غير ثابت

ف

unique	فريد، وحيد، لا نظير له
decomplexation	فض التراكب

spectrophotometry	فوتومترية طيفية
superoxide	فوق الأكسيد، أكسيد فائق الفعالية
Vitamin B 12	فيتامين ب١٢
phthalocyanine	فيثالوسيانين
furan	فيوران
cores	قلب، جوف

ك

catechol	كاتيكول
catenane	كاتينة (سلسلة من حلقات متداخلة)
cationic	كاتيوني
hydrophobic	كاره للماء
cavitands	كافيتاندات
calixarenes	كاليكسارينات
cryptate	كريبتات
acid chloride	كلوريد حمضي
corrin	كورين
chiral	كيرال
chirality	كيرالية

ل

acyclic	لا حلقي

fullerene C60	للفوليرين C60

م

acylate	مؤسيلة، أسيلية
primary oxidant	مؤكسد أولي
oxidative	مؤكسدة
arsenic donors	مانحات الزرنيخ
mixed donors	مانحات مختلطة
myoglobine	مايوجلوبين
protonated	مبرتن (مضاف له بروتون)
hexaprotonated	مبرتن سداسياً
alternate	متبادل، متعاقب، متناوب
complex	متراكب
sandwich complexes	متراكبات ساندويتش
harder congener	متشاكل أقسى
polydentate	متعدد السّن
labile	متغيّر، غير مستقر
methylation	مَثيَلة، إضافة مجموعة ميثيل
hydrophilic	محب للماء
cone	مخروط
partial cone	مخروط جزئي
square-planar	مربع مستوي

cage ligand	مرتبط قفصي
adduct	مركب جمعي
luminscent	مضيئة
elongated	مطوّل، مستطال
magnetism	مغناطيسية
molecular switches	مفاتيح جزيئية
spatially	مكانياً، فضائياً
back-donation	منح خلفي
low-spin	منخفض المغزلية
low-lying	منخفضة ممتدة
deprotonated	منزوعة البروتون
electropositive	موجب الشحنة
metalloenzyme	ميتالوانزيم، إنزيم معدني
methylene spacer	ميثيلين فاصل

ن

transmetallation	نزع الفلز، نزع المعدن
demetallation	نزع فلز
pseudomacrocyclic system	نظام حلقي ضخم كاذب
qualitative	نوعي، كيفي
nonactin	نونكتين

هـ

هاليد الألكيل	alkyl halide
هيدريد	hydride
هيموجلوبين	hemoglobine
هيموسيانين	hemocyanin
هيميريثرين	hemerythrin

و

وحدات ثانوية، وحدات فرعية	subunits
وصلة الدايازو	diazo linker

ي

يتريوم	yttrium
يورانيوم	uranium

ثانياً: إنجليزي– عربي

A

acid chloride	كلوريد حمضي
acrylonitrile	أكريلونيتريل
acyclic	لا حلقي
acylate	مؤسيلة، أسيلية
acylation	أسيلة، إضافة مجموعة أسيل
adduct	مركب جمعي
aerobic	بكتريا هوائية
alkalide	القلويد
alkyl halide	هاليد الألكيل
alkylation	ألكلة
alternate	متبادل، متعاقب، متناوب
aminol	أمينول
ammonium ions	آيونات الأمونيوم
anion binding	ترابط الأنيون
anionic	أنيوني
antimony	أنتيموني
aminobenzaldehyde	أمينو بنزالدهيد
arsenic donors	مانحات الزرنيخ
axial substitution	استبدال محوري

aza	آزا
azacrown ethers	إثيرات تاج أزا
azide	آزيد

B

back-donation	منح خلفي
benzaldehyde	بنزالدهيد
benzo	بنزو
biomimetic	المحاكاة الحيوية
bromination	برومة، إضافة بروم

C

cage ligand	مرتبط قفصي
calixarenes	كاليكسارينات
calorimetric	حراري، كالوريمتري
capping reactions	تفاعلات الغطاء أو التغطية أو القبعة
carbonic anhydrase	أنهيدراز كاربوني
catalytic processes	عمليات الحفز
catechol	كاتيكول
catenane	كاتينة (سلسلة من حلقات متداخلة)
cationic	كاتيوني
cavitands	كافيتاندات
cavity	تجويف

chelate effect	تأثير مخلبي
chelating	تخالب
chiral	كيرال
chirality	كيرالية
chloride-swing	تأرجح- الكلوريد
complex	متراكب
complexation	تراكب
cone	مخروط
cores	قلب، جوف
corrin	كورين
cryptand	الكريبتاند
cryptate	كريبتات
Curtis macrocycle	حلقة كرتيس الضخمة
cyclam	سيكلام
cyclen	السيكلين

D

decomplexation	فض التراكب
demetallation	نزع فلز
denticity	سنية
deprotonated	منزوعة البروتون
diazo linker	وصلة الدايازو
dimerization	بلمرة ثنائية الجزيئات، تشكيل ثنائي

	الجزيئات
dinuclear	ثنائي النواة
diol	دايول
dioxygen	ثنائي الأكسجين
disproportionate	اختلال التناسب

E

electrides	إلكتريدات
electropositive	موجب الشحنة
elongated	مطوّل، مستطال
enantiomer	إنانتيومر، متماىٔ
enantioselective	انتقاء الإنانتيومر
encapsulating	تكبسل، تغليف
endocyclic	حلقية داخلية، داخل الحلقة
enteric bacteria	البكتريا المعوية
enterobactin	إنترويباكتين، الباكتين المعوي
entropy	أنتروبي (درجة التعادل الحراري)
exocyclic	خارج الحلقة

F

ferrichromes	الكرومات الحديدية
fragmentation	تجزئة، تشظية
fullerene C60	للفوليرين C60

functionalization	توظيفي
furan	فيوران

H

harder congener	متشاكل أقسى
heme (haem) proteines	بروتينات الهيم
hemerythrin	هيميريثرين
hemocyanin	هيموسيانين
hemoglobine	هيموجلوبين
hexaprotonated	مبرتن سداسياً
high-spin	عالي المغزلية
host	عائل
hydride	هيدريد
hydrometallurgy	تعدين مائي
hydrophilic	محب للماء
hydrophobic	كاره للماء

I

imidazole	إيمدازول
immiscible	عديم الامتزاج ، غير قابل للامتزاج
in vitro	خارج الجسم
interannular	بين الحلقية
intramolecular reaction	تفاعل في ذات الجزيء

irreversible formation	تشكيل غير عكسي

L

labile	متغيّر، غير مستقر
labilized	غير ثابت
lacunar	غور، غائر
low-lying	منخفضة ممتدة
low-spin	منخفض المغزلية
luminscent	مضيئة

M

macrocycle	حلقة ضخمة أو كبيرة
macrocyclic effect	تأثير الحلقية الضخمة
magnetism	مغناطيسية
metabolism	أيض
metal-exchange	تبادل معدني أو فلزي
metallation	إضافة فلز
metalloenzyme	ميتالوانزيم، إنزيم معدني
methylation	مَثيَلة، إضافة مجموعة ميثيل
methylene spacer	ميثيلين فاصل
mixed donors	مانحات مختلطة
molecular hosts	العوائل الجزيئية
molecular switches	مفاتيح جزيئية

myoglobine	مايوجلوبين

N

neurotransmission	إرسال عصبي
nomenclature	تسمية
nonactin	نونكتين

O

octaheral	ثماني الأوجه
oligomerization	بلمرة صغيرة (أوليقومرة أو أوليغمرة)
oligomers	اليغمرات أو أوليقومرات (بوليمرات صغيرة)
oligopeptide	ببتيد صغير
oxidative	مؤكسدة

P

partial cone	مخروط جزئي
peeling of	تجريد، تقشير
pendant arm	ذراع مُعلق أو متدل
peroxide	بيروكسيد
peroxo	بيروكسو
perturb	تشوش
phosphate hydrolysis	تميّؤ الفوسفات

photochemical	ضوئي كيميائي
photoresponsive	الاستجابة الضوئية
phthalocyanine	فيثالوسيانين
polydentate	متعدد السّن
polyethers	إثيرات متعددة
porphyrin	بورفرين
primary oxidant	مؤكسد أولي
protonated	مبرتن (مضاف له بروتون)
protoporphyrin	برتوبورفرين
prototype	طراز بدائي أو أولي
pseudomacrocyclic system	نظام حلقي ضخم كاذب
purple benzene	بنزين أرجواني
pyrometallurgy	تعدين حراري
pyrrole	بيرول

Q

qualitative	نوعي، كيفي
quantization	تكميم أو تكمية

R

radiotherapy	علاج بالأشعة
rearrangement	إعادة ترتيب
redox	أكسدة واختزال

reduction	اختزال
reversibility	انعكاسية، معكوسية
ring size	حجم الحلقة
rotaxane	روتاكسان

S

sandwich complexes	متراكبات ساندويتش
sepulchrate	سبولكرات
siderophores	حاملات حديدية
sodide ion	أيون الصوديد
softer	ألين
spatially	مكانياً، فضائياً
spectrophotometry	فوتومترية طيفية
square-planar	مربع مستوي
stoichiometry	انضباط نسب الذرات
subunits	وحدات ثانوية، وحدات فرعية
superoxide	فوق الأكسيد، أكسيد فائق الفعالية
superperoxo	سوبربيروكسو

T

template effect	تأثير معياري
template reactions	تفاعلات معيارية
tetraazamacrocycles	حلقات رباعي الأزا الضخمة

thermodynamic template effect	تأثير ثرموديناميكي معياري
thermodynamics	ديناميكا حرارية أو ثرموديناميكية
thia	ثيا
thiol	ثيول
tighter fit	توافق أشد
trans effect	تأثير الانتقال
transmetallation	نزع الفلز، نزع المعدن
trimer	بوليمر ثلاثي الجزيئات

U

unique	فريد، وحيد، لا نظير له
uranium	يورانيوم

V

Vitamin B 12	فيتامين ب١٢

Y

yttrium	يتريوم

Z

zinc	خارصين أو زنك
Zinti ions	أيونات زينتل

كشاف الموضوعات

ا

أثيرات تاج أزا ٧٥

أثيرات تاجية ٢، ٣، ١٢، ٢٠، ٢١، ٢٢، ٣٥، ٣٧، ٣٩، ٤٢، ٤٣، ٤٥، ٤٩، ٥٠، ٧١، ٧٨

اختـــــزال ٦٠، ٨٥، ٨٧، ١٤٣، ١٥٠، ١٦١

استبدال محوري ١٢٩

استخلاص ٨٠، ٨١، ١٢١

إعـــادة ترتيـــب ٩٢، ١٤٠، ١٤٢، ١٤٦

أكسدة ١٤٣، ١٥٣، ١٦١، ١٦٥

إلكتريد ١٤٦

الألكلة ١٣٢، ١٣٥

أمين متعدد ١١

أمينو بنزالدهيد ٩٣

أمينول ١٣٨

انتروباكتين ١٦٥، ١٦٦

أنهيدراز كربوني ١٦٣

إيمـــــين ١١، ١٤، ٣٦، ٧١، ٨٣، ٨٦، ٩٢، ٩٥، ٩٧، ٩٨، ١٣٨، ١٥١.

أيونـات الأمونيـوم ٨٤، ٨٥، ١٥٥، ١٥٧

أيونات زينتل ٧٩

ب

بالاديوم ٨٨، ١٤٤

بروتينات الكبريت الحديد ٣٣

البنزين الإرجواني ٢٣

بوتاسيوم ٢٣، ٤٦، ٤٩، ٥١، ٥٤، ٦٧، ٧٤، ٨٦، ١٠٩، ١١٠، ١١٢، ١١٥، ١١٨، ١٢٠، ١٢٢

ت

تأثير التخالب ١١
تأثير حلقي ضخم ١٠٣، ١٠٤
تأثير كريبتات ١١، ١١٢
تأثير معياري ٧٠، ٨١، ٨٤، ٨٩
تأثير معياري حركي ٨٩
تأثير معياري ديناميكي حراري ٨٩
التبادل الفلزي ١٤٠، ١٤٢
تحلق ٦٤، ٦٥، ٦٧، ٧١
ترابط الأنيون ١٥٨
ترابط الحديد ١٦٦
ترابط الفوسفات ١٦٠
ترابط الكربوكسيلات ١٦٠
ترابط الهاليد ١٦٠
تشييد ٨١
تعدين مائي ١٢٢
تفاعلات الإيمين ٩٣
تفاعلات المرتبط ١٣٢، ١٣٨
تفاعلات معياري ١٣، ٣٨، ٨٢، ٨٦، ٨٨
تميّؤ الفوسفات ١٦١
ثنائية النواة ٣٣

ث

ثلاثي أزا سيكلونونان ١٦٤، ١٦٥
ثنائي الأكسجين ١٨، ١٩، ٣٦، ١٣٠، ١٣١، ١٣٥، ١٤٧، ١٥٠، ١٥٣، ١٦٢، ١٦٤

ح

حجم الفجوة ٣٨، ٣٩، ٤٤، ٤٩، ٥٥، ٦١، ٨٥، ٨٩، ١١٨، ١٤١
حجم حلقة ٤، ١٣، ٦٤، ١٠٨
الحديد ١٦، ١٧، ١٨، ٤٩، ٨٤، ١٣١، ١٤٦، ١٥٠، ١٦٠، ١٦٢
الحركية ١٠٣، ١١٢، ١١٤، ١٤٠
حفز ١٦١، ١٦٣

حلقة كيرتيس الضخمة ٧١، ٨٩
حلقة بجر الضخمة ٨٨
حلقي خارجي ٥٣، ١١٦
حلقي داخلي (داخل الحلقة)٣٥، ١١٦

هـ

الديناميكية الحرارية ١٠٣، ١١٤

ذ

ذراع متدلي ١٣

ر

رابطة الهيدروجين ٧١، ١٢٧، ١٥٥، ١٥٩
رباعي أزا ٣٩، ٥٥، ٦٩، ١٠٨، ١١٣، ١٢٤، ١٢٩، ١٤٣
روتاكسان ٩٩
روثينيوم ٤٩

ز

زنك ١٤٢، ١٦٣

س

سفيراندات ٢٩، ١٥٦
سلاسل أو كاتينات ٩٩، ١٠٠، ١٤٠، ١٤٦
سلسلة إيرفنج وليامز ١٢٣
سيبولكراتات ٣٢، ٤٥، ١٤٦
سيزيوم ٤٧، ٥٤، ٧٩
السيكلام ١، ٣، ١٢، ٥٥، ٥٨، ٧٥، ٨٦، ٩٥، ١٠٥، ١١١، ١١٧، ١٣٤، ١٤٤، ١٦١
سيكلوديكسترينات ٣١
السيكلين٧، ١٣، ٣٩، ٤١، ٤٢، ٥٧، ١٠٥، ١١٤

ص

صوديدات ٧٩، ١٤٦، ١٤٨

صوديوم ٢٩، ٤٥، ٤٧، ٤٩، ٥١، ٥٤، ٦٦، ٧٣، ٧٨، ١٠٩، ١٢٠، ١٤٩

عقد knots ١٠٠

عقد برسيم ١٠٠

علاج إشعاعي ٧

فرفرين ١٦٢، ١٦٣

فروسين ٨٠

الكرومات الحديدية ١٦٥

فضة ٩٠، ١٢٥، ١٤٤

فيتامين ب ١٩، ٢٠، ١٦٤

فيثالوسيانين ١٥، ١٦، ١٧، ٢١، ٥٨، ٧٥، ٩٤، ١٤١

القلويد ٧٨، ٧٩

كافيتاندات ٢٧

كبسلة ٢٧، ٢٩، ٣١، ٩٦، ٩٧، ١٤٥

كريبتاندات ٢٧، ٢٨، ٥٣، ٥٤، ٦٨، ١١٢، ١١٥، ١٤٦، ١٤٩، ١٥٥، ١٥٩، ١٦٠

كلوروفيل ٨، ٢٠

كوبالت ١٧، ١٩، ٩٢، ٩٦، ٩٨، ١٢٩، ١٤٠، ١٤٥، ١٥٠، ١٦٢

الكيرالية ٥٨، ١٦٦

كيمياء العائل – الضيف ٢٨

الليثيوم ٢٩، ٤٥، ٥٠، ٥٩، ٧٣، ١١٨، ١٤١

مانحات الزرنيخ ٦٦

مانحات السيليثيوم ٢٥
مانحات الكبريت ٢٥، ٦٦
مانحات فسفور ٢٥، ٨٨
مانحات مختلطة ٢٦، ٣٢
متراكباموليبدنوم ١٦٣
متراكبات الزئبق ٧٧، ١٤١
متراكبات سندويتش ٣٤، ٤٦
مرتبطات الغوار (غائرة) ١٣١
بارامغناطيسية ٧
مغنسيوم ٢٠
المفاتيح الجزيئية ٢٤
منجنيز ٣٧، ٣٨، ٩٠، ١٦٢، ١٦٥
منظمة سابق ٦٩، ٧٠، ٨١، ٨٣

ن

النحـــــاس ١٢، ٣٥، ٩٢، ١٠١، ١١٤، ١٤٠، ١٦٤، ١٦٥
نزع الفلز ١٤٠، ١٤٢
نيكـــــل ١٧، ٤١، ٥٥، ٥٦، ٥٩، ٧٥، ٨٢، ٨٤، ٩١، ٩٦، ١٠٦، ١٢٣، ١٣٢، ١٣٩، ١٤١، ١٤٥، ١٥٠

هـ

الهيم ١٧، ١٨
هيموسيانين ٣٣، ١٦٤
هيميريثرين ٣٣، ١٦٤

ي

يورانيوم ٦٠، ٧٧
يوروبيوم ٧٦