二十五年来天然有机化合物的合成的成就

黃 耀 曾

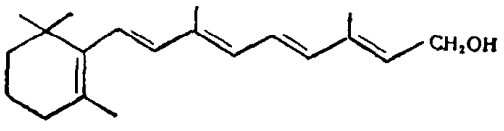
（中国科学院有机化学研究所）

一

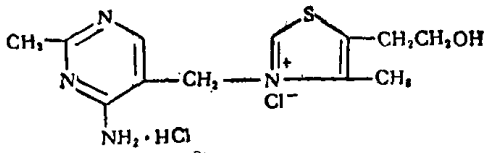
自从 Kekule 提出了碳是四价的假設 (1857) 以来，到現在恰好是一百年。他和他同时代的 Бутлеров 奠定了有机化学結构理論的基础，从而使得有机化学有了很大的發展。一百年以前除掉 Wöhler (1828) 的划时代貢献，合成尿素，Kolbe (1845) 合成醋酸以外，天然有机化合物合成的工作很少。由于結构学說的逐漸确立，有机合成便得放一异彩。Caro, Graebe, Liebermann (1868) 合成了茜草素 (alizarin), Landenburg (1886) 合成了毒芹鹼 (coniine), Behrend 和 Roosen (1886) 合成了尿酸，Heumann (1890) 合成了靛藍 (indigo), Emil Fischer (1890) 合成了几种糖。接着是 Fischer (1901) 多肽的合成，A. Pictet (1904) 烟鹼 (nicotin) 的合成，Komppa (1909) 樟脑的合成，都是些極其光輝的成就。这是十九世紀以及二十世紀初叶的事。

二

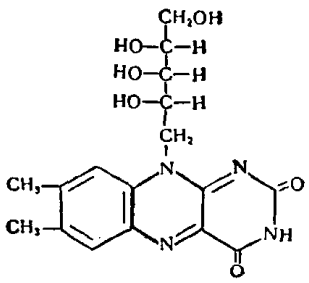
最近二十五年来天然有机化合物的合成有了飞躍的进展。維生素方面：A (I), B_1 (II), B_2 (III), B_6 (IV), C (V), D (VI), E (VII), K (VIII), 泛酸 (pantothenic acid) (IX), 生物素 (biotin) (X) 和叶酸 (folic acid) (XI) 都一一被合成了。其中几种，例如維生素 B_1 (Williams, 1936), B_6 (Kuhn, Merck 实驗室，1938—1939)，生物素 (du Vigneaud, Merck 实驗室，1943) 的合成，几乎是和結构的闡明同时完成的；而維生素K (Fieser, 1939) 則和一般的傳統不同，是用合成的方法来闡明結构的。維生素 A 的合成 (Isler, 1947) 距离結构的闡明 (Karrer, 1931) 不过十六年，維生素 D 的提純在 1931 年，它的半合成去年由 Inhoffen[1] 实現了。



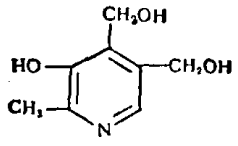
I



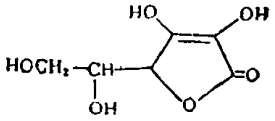
II



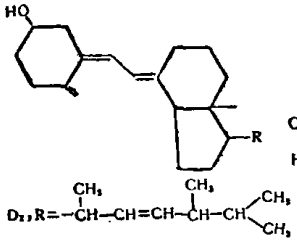
III



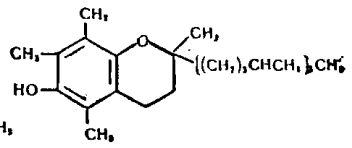
IV



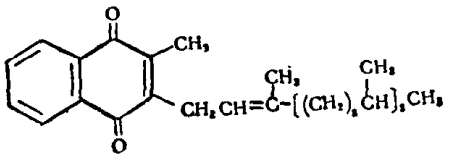
V



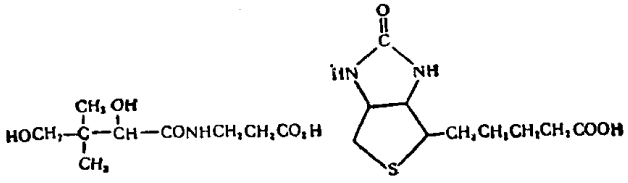
VI



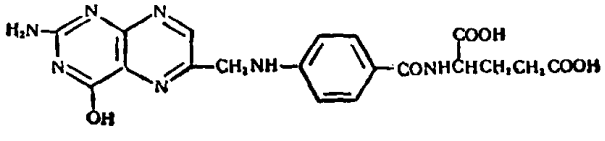
VII



VIII

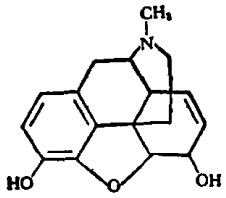


IX X

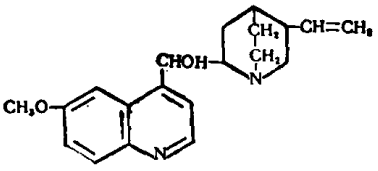


XI

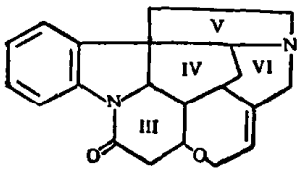
植物鹼中最早發現和提純的有嗎啡 (XII)、喹宁 (XIII)、番木鼈鹼 (XIV) 等。这些一向被認为極难合成的化合物，都在最近合成成功。嗎啡的全合成是 Gates[2](1952) 和 Ginsburg[3](1954) 的成就，距离它的提純差不多晚了一百五十年。喹宁和番木鼈鹼[4]的全合成都是 Woodward 的貢献，这位震惊化学界的杰出有机化学家并在最近光輝地完成了其它两种重要植物鹼的全合成——麦角植物鹼 (ergot alkaloid)[5]：麦角酸(lysergic acid) (XV_a)，麦角新鹼 (ergonovine) (XV_b)，以及銳宿平 (reserpine)[6] (XVI)。



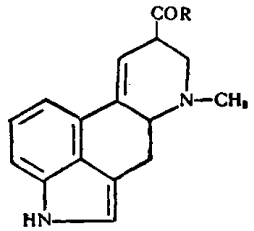
XII



XIII

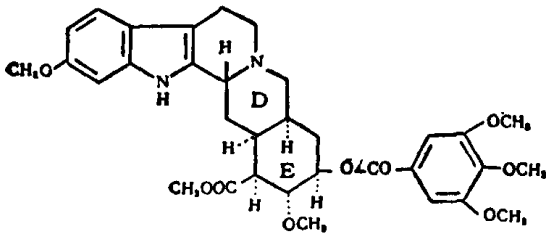


XIV



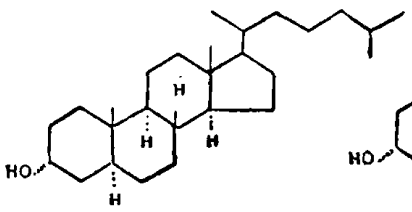
XV_a R=OH

XV_b R=NHCH(CH₃)CH₂OH

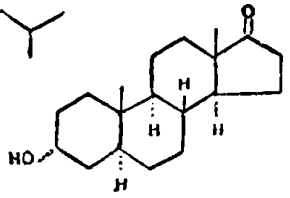


XVI

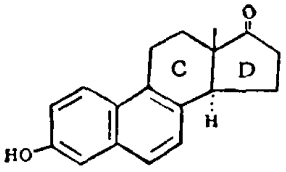
甾体化合物方面，自从 Rosenheim, King, Wieland (1932) 在二十五年前提出了新的公式以后，它們的部分合成和全合成一直是各国有机化学家奋斗的目标。我国庄长恭也曾領了一小队工作者从事于此。部分合成首先获得成功的是 Ruzicka(1934)，他用 epidihydrocholesterol (XVII) 氧化，得到 androsterone (XVIII)，虽然当时对于这样反应应該称为合成还是降解曾經引起了有机化学界热烈的爭辯。Bachmann (1939) 的 equilenin[7] (XIX) 的合成是甾体化合物中全合成首先获得成就的工作。接着，Johnson (1945) 用完全不同路綫来构造 equilenin的 D 环也获得成功。Estrone (XX) 的全合成經 Mieschers[8] (1947—1949)，Johnson 等[9] (1952) 分别研究而底于成。值得指出，他們除 estrone 本身外还获得其它七种外消旋异构体，得到了所有理論上可以存在的异构体。



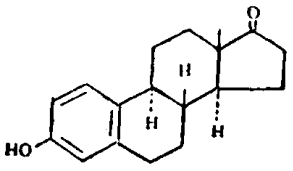
XVII



XVIII

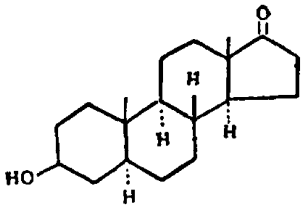


XIX

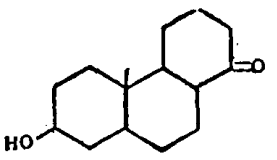


XX

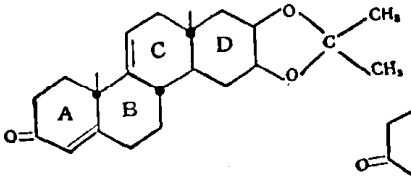
非芳香族的甾体化合物，由于它們含有許多不对称碳原子，立体异构体太多，一向被認为是極难合成的。1952 年两处同时宣布合成成功，一处是 Robinson[10] 的实驗室，一是 Woodward[11] 的实驗室。事实上 Robinson 合成 epiandrosterone (XXI) 的中間体 (XXII) 早在 1946 年已經获得，經过了差不多五年才得到最后成功，可見工作是極其艰巨的。Woodward 的甾体化合物合成的特点是从中間体 (XXIII) 出發，可以制备各种非芳香族的甾体化合物，例如 androsterone (XVIII)，妊孕激素 (progesterone) (XXIV)，胆固醇 (cholesterol) (XXV)，cortisone (XXVI)，几乎把非芳香族甾体化合物一网打尽。这一合成路綫設計的特点是在A环和C环上巧妙地安下两个双鍵，D环則是六員环，使得 C，D 环在合成过程中稳定地保持反式稠合。最后将 D 环氧化成双醛，环化后成为 C-17 位置上含有一



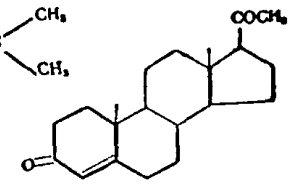
XXI



XXII

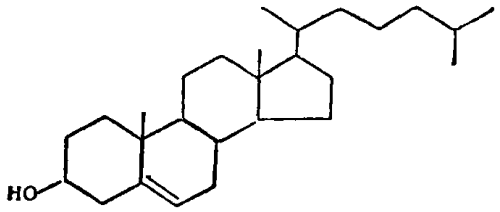


XXIII

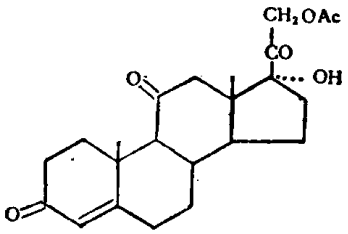


XXIV

个甲醛基的甾体骨架。C-17 的甲醛基则是合成边鏈的出發点，C 环上的双鍵則是合成 C-11 酮簇的基础。

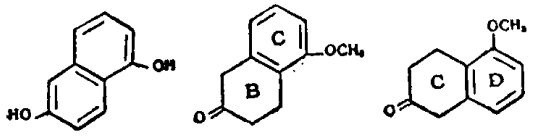


XXV



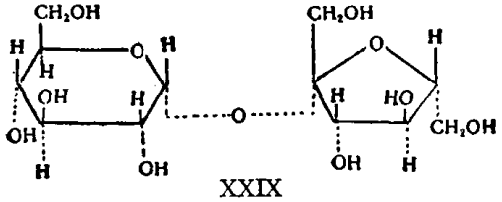
XXVI

Sarett 最初用胆酸改造合成 cortisone，后来又报告了全合成的方法[12]。最近 Johnson[13]也报告了非芳香族甾体化合物的全合成。值得指出，Robinson 方法的起始原料是 1,6-萘二酚 (XXVII)，从而制备了化合物 (XXVIII)，作为甾体 B, C 环的基础。Johnson 的方法用同样的原料，把它作为 C, D 环的基础。足見有机合成設計的运思是各有巧妙不同的。



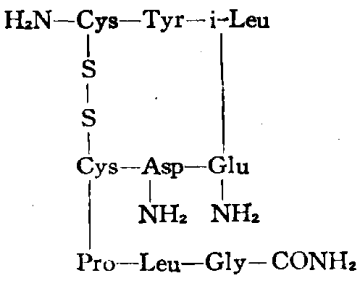
XXVII　　XXVIII

碳水化合物方面：蔗糖 (XXIX) 的合成一直被人們所注意，达数十年之久，1953 年为 Lemieux[14] 实現了。虽然 Hassid (1944) 曾經用葡萄糖-1-磷酸酯和果糖經过酶的作用合成了蔗糖，但用純粹的化学方法来合成，过去一直沒有人达到目的。



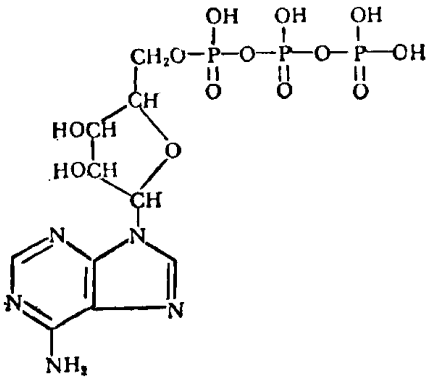
XXIX

催产素 (oxytocin) (XXX) 的合成是近年来一件大事。这次 dc Vigneaud[15] (1954) 光輝的成就鼓舞了多肽合成的信心，無疑会成为今后有机化学工作的重点。将来較大分子的蛋白質例如胰島素的合成不是不可能实現的。

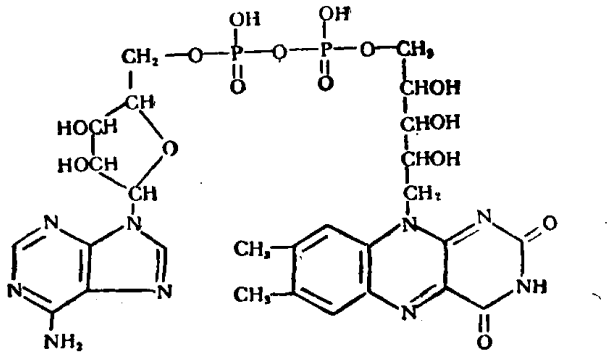


XXX

核甙酸：adenosine triphosphate (XXXI)及 flavine-adenine dinucleotide (XXXII) 的合成，是 Todd 等[16]的輝煌貢献。

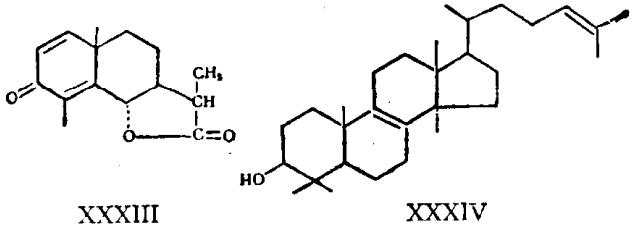


XXXI



XXXII

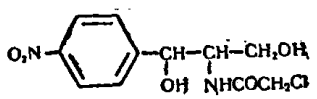
萜类化合物山道年 (XXXIII) 的合成，虽然远在十几年前有人宣布合成成功，并且宣称不从任何不对称合成 (asymmetric synthesis)，一下子就得到旋光活性的产物，旋光度居然和天然山道年相同！但是显而易見，他的工作是不可能重复的，就是他本人也断然不会重复的。留下的只是談資話柄而已！日本学者 Abe[17] 山道年的合成是近年来萜类化合物中重要貢献。他不但合成了天然山道年，并且也获得了所有理論上可能存在的一切立体异构体。四环倍萜类



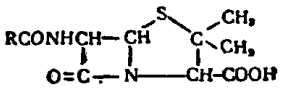
XXXIII　　XXXIV

lanosterol (XXXIV) 的合成也由 Woodward 和 Barton[18]合作实现了。

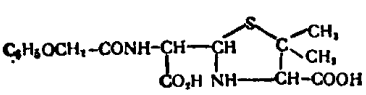
重要抗生素的合成有氯霉素 (XXXV)，它已完全代替了生物合成，大規模地生产[19]。我国高怡生、邢其毅在氯霉素合成方面也有貢献。青霉素 G (XXXVI, R=$C_6H_5CH_2$) 的合成，虽过去有人宣布成功，不过产率仅万分之一。最近 Sheehan[20]利用N, N'--dicyclo-hexylcarbodiimide为縮合剂，在水溶液中将 (XXXVII) 縮合，合成了青霉素V (XXXVI, R=$C_6H_5OCH_2$)，产率 10—12%。橘霉素(XXXVIII)也已合成，我国汪猷也有貢献。



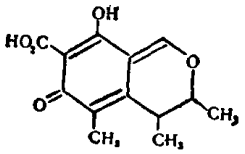
XXXV



XXXVI



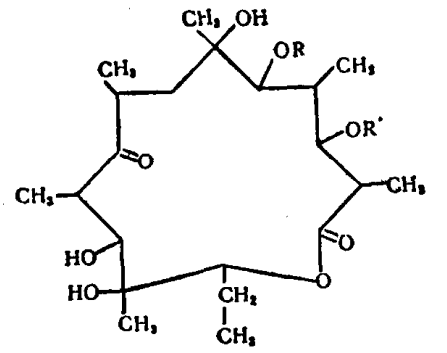
XXXVII



XXXVIII

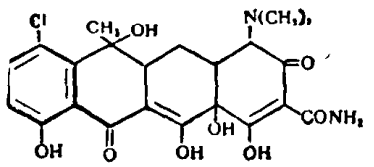
三

科学研究是不能一蹴而就的。搞清化合物的結构是合成的基础。有机化学家探索番木鼈鹼、嗎啡結构的秘密的工作，实际上在有机化学成为一种学科以来的全部历史中展开着。人們对甾体化合物的結构的研究也貫穿了三十多年的有机化学史。抗生素的研究無論在微生物学方面或有机化学方面，近二十年發展很快。它們結构的闡明往往在短期內突破。青霉素的結构經过了英美两国有机化学家 (Robinson, Chain, Folker, Woodward, du Vigneaud 等) 集体研究，終底于成。結构光怪陆离的紅霉素 (erythromycin[21]) (XXXIX)、金霉素 (chlorotetracyclin) (XL) 也是在短期內予以肯定的。

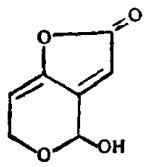


XXXIX

当有机化学家們合成一种天然有机化合物时，首先要感謝的是这种化合物結构的奠定者。Windaus, Wieland 在甾体化合物結构研究中光輝的貢献，Leuchs 在番木鼈鹼結构研究中辛勤累积的巨大資源，Robinson 天才地描繪嗎啡結构的圖形都是化学家做合成时設計的張本。虽然有时一些結构上的細节还沒有搞清 (例如一两处立体化学上的問題)，在合成时反可明朗化。Lanosterol (XXXIV) C-14 的甲基在 α 位就是用合成方法才証明的[18]。抗生素 patulin[22] (XLI) 的結构是用合成来决定的。



XL



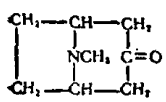
XLI

其次，必須指出，有机合成是不能以成敗論英雄的。Robinson 甾体化合物的合成，一系列的文章，發表到第 50 篇时，并沒有合成成功任何一种天然甾体化合物，而 Bachmann, Johnson, Miescher 合成 equilenin, estrone 的工作，相繼發表了。然而誰能否認 Robinson 合成甾体的工作实光輝地駕乎他人之上呢？Robinson 不急于求成，精心地筹划各种巧妙合成路綫，發展了合成的方法，丰富了有机化学內容，無論反应成功和失敗，都可作其他有机化学家做合成时的借鑒。

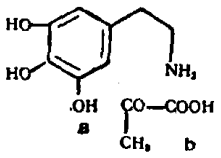
嗎啡合成的先驅者如 Grewe，番木鼈鹼合成的先驅者如 Leuchs 的工作，何尝不是 Gates 以及 Ginsburg 合成嗎啡，Woodward 合成番木鼈鹼可貴的參考資料呢？此外，那怕是極其微薄的合成方面的貢献，看来虽和有机化学家着手进行的合成工作無关，也是可貴的。

四

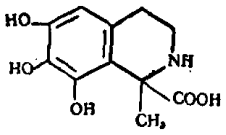
生源学說对天然有机化合物的合成是不是起了指导作用呢？Robinson (1917) 的 tropinone (XLII) 的合成，戏剧性地說明了这一問題。丁二醛、甲胺、丙酮二羧酸混合物的水溶液放置片刻得到 tropinone 已是众所周知的事实了。其它两个例子在所謂"生理条件"的酸度与温度下起了下列的变化 (XLIII$_{a,b}$→XLIV)，(XLV$_{a,b}$→XLVI)。后者 (XLVI) (norsalsolin) 的收获率达到 83%。



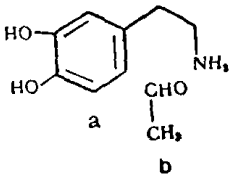
XLII



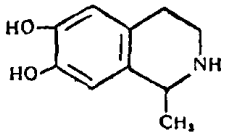
XLIII



XLIV

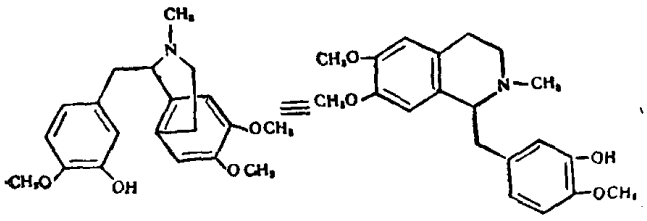


XLV

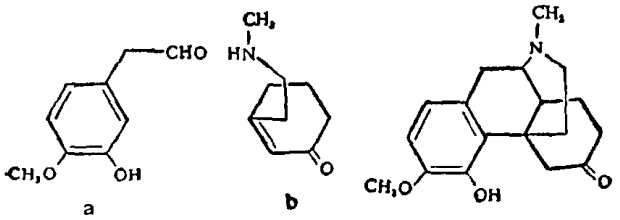


XLVI

Robinson 指出了嗎啡 (XII) 与苄基异喹啉植物鹼如 laudanine (XLVII) 的相似关系，因而 Woodward 制备了 XLVIII$_a$ 与XLVIII$_b$ 两个組分，希望經过变化生成 dihydrothebainone (XLIX)，可是事实上得到的只是 (L)。Robinson 企圖从苄基异喹啉植物鹼 (LI) 轉变成嗎啡类化合物的氧化过程中，得到的只是一种季胺盐 (LII)，有兴趣的是在 Robinson[23]工作發表后的二十年，这种季胺盐的三甲醚居然在自然界找到了[24]。

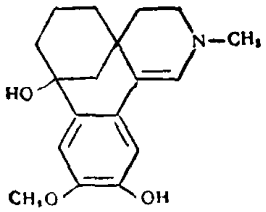


XLVII

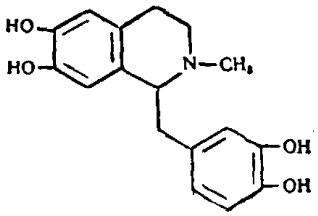


XLVIII

XLIX

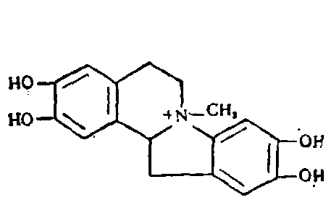


L

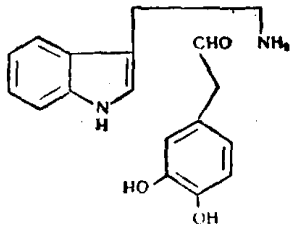


LI

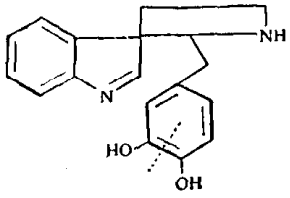
番木鼈鹼 (XIV) 第 V 环的生源，Woodward[4] 明辨了是由于一种醛在色胺 (tryptamine) 吲哚核的 β 位縮合而形成的(LIII→LIV)。他利用 ethyl glyoxalate (LV$_b$) 和色胺衍生物 (LV$_a$) 縮合，构成番木鼈鹼的第 V 环得 (LVI)。



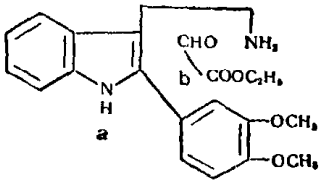
LII



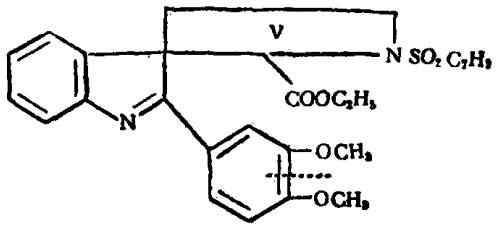
LIII



LIV



LV



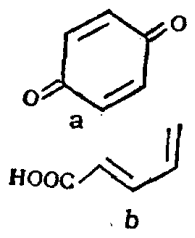
LVI

另一种重要的推测，番木鼈鹼的生源包括碳环的裂开 (如在式 LIV 中虛綫所示)，Woodward 在色胺組分巧妙地預先安上邻位二甲氧苯基 (LV$_a$)，在碳环裂开后 (式 LVI 虛綫所示) 可作为构造 III, IV, VI 环的基础。

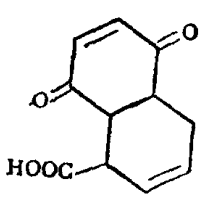
上述的許多例子是应用生源学說来指导合成的。另一方面，完全不管生源学說，合成获得成功的，文献中也不乏先例，Gates 和 Ginsburg 嗎啡的合成是这类例子。

五

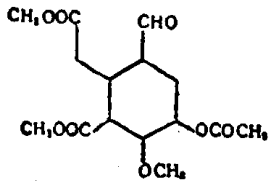
科学是不能孤立發展的。近二十五年来天然有机化合物合成的进展是和新反应的發現、方法的改进分不开的。双烯合成 (Diels, Alder, 1928) 广泛的应用是近二十五年間的事。Reserpine (XVI) 的合成第一步驟是应用的双烯合成 (LVII$_{a,b}$→LVIII)，生成物 (LVIII) 經过一系列的反应得到 LIX，然后再与取代色胺 (LX) 縮合制得主要的中間物 (LXI)。



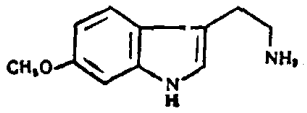
LVII



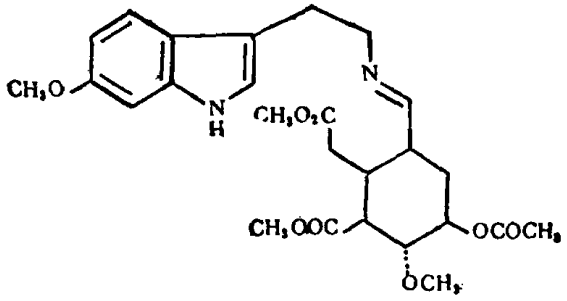
LVIII



LIX

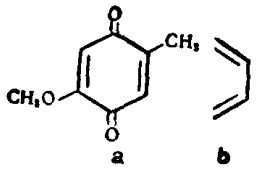


LX

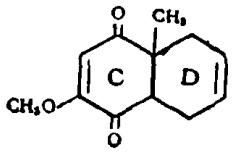


LXI

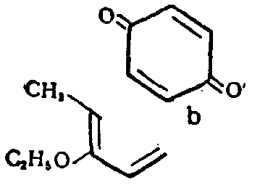
Woodward 的非芳香族甾体化合物的全合成，第一步也是应用的双烯合成 (LXII$_{a,b}$→LXIII)，生成物作为甾体 C, D 环的基础。Sarett[12] 合成 Cortisone 的第一步也是应用的双烯合成 (LXIV$_{a,b}$→LXV)，生成物作为 B, C 环的基础。



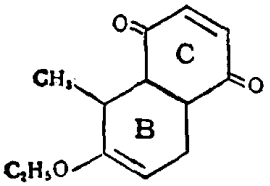
LXII



LXIII

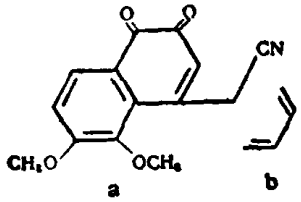


LXIV

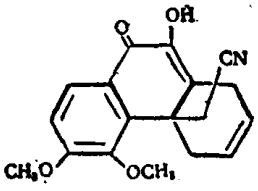


LXV

Gates 的嗎啡合成中关鍵化合物也是应用的双烯合成 (LXVI$_{a,b}$→LXVII)。此外应用双烯合成的例子不胜枚举了。

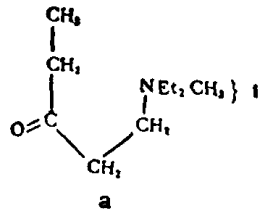


LXVI

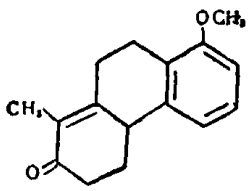


LXVII

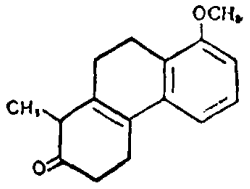
Mannich 反应的發現在 1926 年。改良了方法，并广泛地引起有机化学家的注意，則是 Robinson 的工作[25]。Robinson 还应用 Mannich 反应建立甾体化合物生源学說。事实上甾体化合物合成的許多方法皆应用了 Mannich 反应。Johnson 的工作[13] (LXVIII$_{a,b}$→LXIX⇄LXX, LXX + LXXI→LXXII)，連續两次应用 Mannich 反应，是突出的例子。



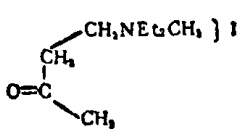
LXVIII



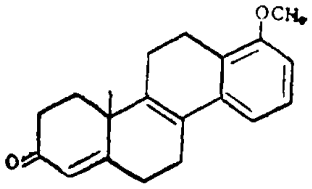
LXIX



LXX

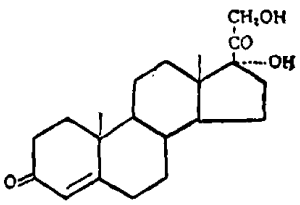


LXXI

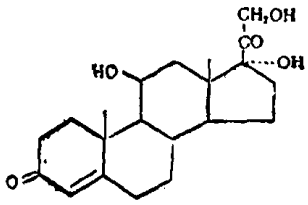


LXXII

各种氧化还原方法的發現或改良，也和有机合成的进展有密切关系。氧化法方面：高碘酸 (Malaprade, 1928)、氧化鐵 (Criegee, 1936)、氧化硒 (Riley, 1932) 作氧化剂，Oppenauer 氧化法都是近二三十年內的进展。生物氧化，例如 Reichstein S (LXXIII) 經过一步变化，在 C-11 位置上引进羥基，变成 cortisol (LXXIV)，如果經过化学变化，不知要花多少手續。無疑地，生物氧化的研究，会在最近大大地發展，寻求規律。



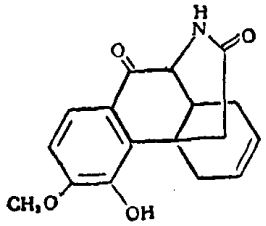
LXXIII



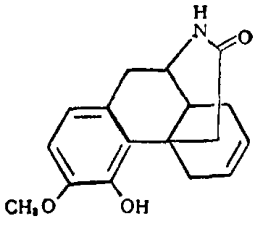
LXXIV

还原法方面：黃鳴龙的改良 Kishner-Wolff 还原广泛地应用于有机合成。Gates, Ginsburg 的两种嗎啡合成法中皆应用了黃鳴龙还原方法 (LXXV→LXXVI, LXXVII→LXXVIII)。Barton[26] 的改良 Kishner-Wolff 的还原法适用于有空間阻碍的酮基。鋁氫化鋰、硼氫化鈉在有机合成中極广泛地被应用着。如果沒有發現这两种还原剂，几乎不可想像上述的許多天然有机化合物，可以順利地合成成功。Birch 还原、Meerwein-Ponndorf-Verley 还原也是合成工作中常用的方法。前者使芳香性化合物还

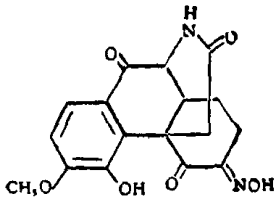
原为脂环化合物，例如 LXXIX→LXXX，再經一次温和水解得到的化合物 (LXXXI)，脂环上含有一个酮基，可作为下一步合成时的樞鑰。



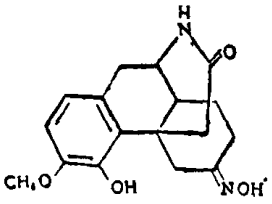
LXXV



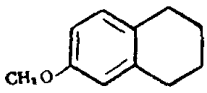
LXXVI



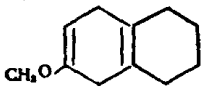
LXXVII



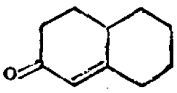
LXXVIII



LXXIX



LXXX



LXXXI

乙炔类化合物应用于天然有机化合物的合成也有發展。Karrer 及 Inhoffen 的胡蘿卜素类化合物的全合成[27] (1950)就是应用乙炔类衍生物与适当的酮或醛縮合，得到的含叁鍵化合物，經部分接触氫化，使还原成双鍵。Linolenic acid[28](LXXXII), α-elaeostearic acid[29] (LXXXIII) 的全合成，則是应用乙炔类化合物与卤化烃作用，得到的叁鍵化合物用 Lindlar[30]接触剂，接触氫化变成双鍵化合物。

$$CH_3(CH_2\overset{c}{CH}{=}CH)_3(CH_2)_7COOH$$

LXXXII

$$CH_3(CH_2)_3\overset{t}{CH}{=}CH\overset{t}{CH}{=}CH\overset{c}{CH}{=}CH(CH_2)_7COOH$$

LXXXIII

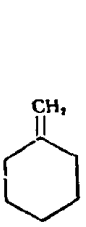
Wittig 和 Schöllkopf[31]的反应，系应用一种含磷有机化合物和酮或醛作用，得到含双鍵的化合物，例如环已酮与 LXXXIV 作用得次甲基环已烷 (LXXXV)。Inhoffen[1]应用了这方法从LXXXVI合成了維生素 D_2。Trippett [32]完成了squalene的合成 (LXXXVII+LXXXVIII→LXXXIX)。

Bergmann (1932) 多肽合成法，到現在恰恰是二十五年。在这一合成法中利用苄氧羰基作为氨基的保护基，成功地合成多肽。近来又有各种合成多肽方法陆續發表。这些都是催产素 (XXX) 合成的基础。

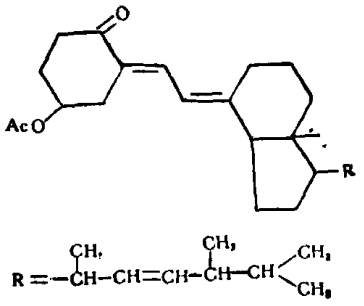
Bachmann 在 glyoxylic ester 脫除一氧化碳

$$(C_6H_5)_3P{=}CH_2$$

LXXXIV



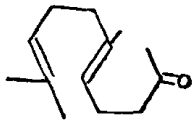
LXXXV



LXXXVI

$$(C_6H_5)_3P{=}CH\text{-}CH_2CH_2\text{-}CH{=}P(C_6H_5)_3$$

LXXXVII

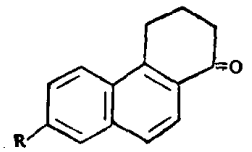


LXXXVIII

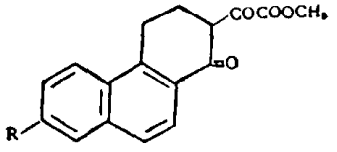


LXXXIX

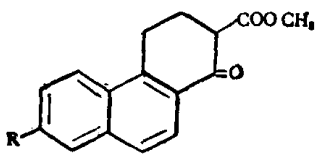
时，加入玻璃粉末，使反应能順利地进行，看来仅仅是技术上的改良，但他就因为这一个重要的發現，才能順利地得到关鍵性中間体 (XCII, R=OCH_3) (XC→XCI→XCII, R=OCH_3)，終于合成了 equilenin (XIX)。事实上他的合成工作起点 (XC, R=OCH_3)，是已知的化合物，合成的步驟也是常用的反应。因此当时好多实驗室都曾作同样的考虑，虽然 Haworth 的工作，記述化合物 (XCI, R=H) 不能順利地脫除一氧化碳，生成 (XCII, R=H)，多少影响了信心。足見周密考虑計划是一事，而完成計划又必須要有極大的毅力和精湛的技巧了。庄长恭及其同工作者也曾做过和 Bachmann 相同的打算，可惜我們的工作因为战爭停止了进行。最近我国張錦也合成了 equilenin。



XC



XCI



XCII

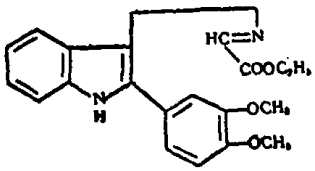
Ziegler 溴化反应也在合成工作中时常应用着。

六

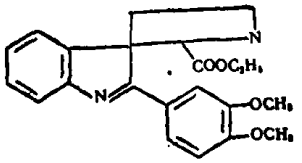
“近代的有机化学拥有精确和强有力的配备，使从事于这項工作的人，可以用来进攻一些刺激他們心

目的問題。在这里时时提到了其中一些武器，的确值得着重指出。就是如果不經常使用理論家供給我們所支配的丰富原理和反应机构，以及不使用我們可以利用的精确物理工具，此次战役是不会就結束的。"这是Woodward[4]在第十四届国际理論和应用化学会議中，报告他的番木鱉鹼合成时說的話。

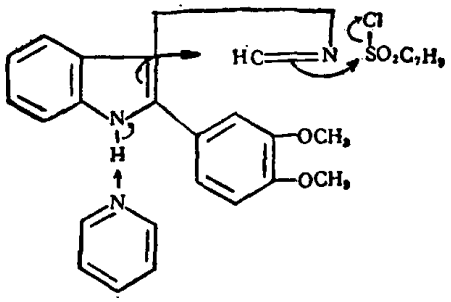
的确，近代理論有机化学的进展，对天然有机化合物合成起了重要的指导作用。单就电子学說来說，我們可以举番木鱉鹼合成中一个生动的例子：当化合物（LV）的两个組份（a, b）縮合时，只到 Schiff 鹼（XCIII）为止，用簡单的酸性或鹼性接触剂以引起所期望的环化成为（XCIV）的努力，均归失敗。显然这里需要一些誘导。为了引誘电子取得所希望的位置，必須在一端拉它們，一端推它們。Woodward 选用了甲苯磺酰氯来拉，吡啶来推；当 Schiff 鹼（XCIII）用这些試剂处理时（参看 XCV 箭头），果然生成了（LVI）。



XCIII



XCIV



XCV

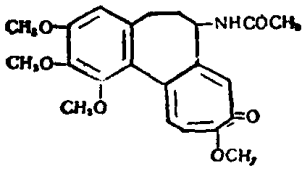
立体化学的發展，对天然有机化合物合成起了重要的指导作用。胆固醇（XXV）有 8 个不对称碳原子，理論上有 256 个立体异构体。搞清各环間联結的构型，固然是件極其艰巨的工作，合成时是否能得到与天然产物构型相同的化合物原是二十年前做甾体化合物合成的人憂虑的事。可是由于立体化学的进展，这种憂虑就逐漸成为不必要而在合成时需要的构型就可由人掌握。近年来构象分析的發展，进一步指导有机合成的事实，也是屢見不鮮了。

物理工具，尤其是紫外吸收光譜仪、紅外吸收光譜仪的使用，对有机合成所起的指导作用，也是难以估計的。

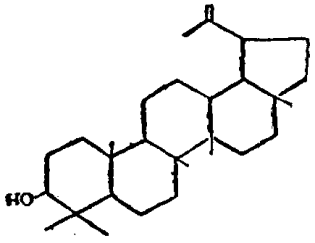
七

二十五年来，由于理論有机化学的进展，新的反应的發現，合成方法的改良，物理工具的进步，微量分析的应用，使得天然有机化合物的合成，有可能得到光輝灿烂的成就。这些成就，不仅照亮了人們已經走过的道路，还照亮了人們未来的前程。

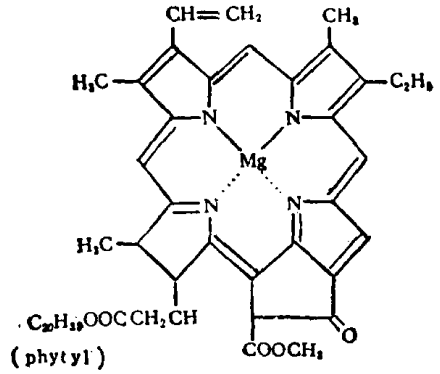
天然有机化合物的合成，就实用价值来說，我們可以举靛藍、氯霉素、女性激素、cortisone 为例，合成产物已完全代替了天然产品，大量生产，俾不致供不应求。就理論意义来說，人們傳統地認为一种天然产品，未經合成，还意味着它的結构研究工作，沒有做完。虽然有些天然产品如喹宁、番木鱉鹼、嗎啡的合成，可能很长时期得不到实用价值，但就發展有机化学本身来說，有机合成的意义是極其巨大的。这一点就足够使它永久發展下去。目前天然产物合成战斗中还有許多堡垒沒有攻克，随手举几个例来說：金霉素（XL）、紅霉素（XXXIX）、秋水仙鹼（colchicine）（XCVI）、五环三萜 lupeol（XCVII）、叶綠素（XCVIII），都是值得攻击的对象。虽然这些化合物中有几种的合成，看来是極难实現的，然而二十年前，人們又怎样看待甾体化合物和番木鱉鹼的合成呢？



XCVI



XCVII



XCVIII

夺取天然有机化合物合成工作中还沒有攻克的堡垒，是需要人們繼續努力的！

[1] H. H. Inhofien et al., Naturwissenschaften, **44**, 11 (1957).

[2] M. Gates and G. Tschudi, J. Am. Chem. Soc., **74**, 1109 (1952); **78**, 1380 (1956).

[3] D. Elad and D. Ginsburg, J. Am. Chem. Soc.,

76, 312 (1954); J. Chem. Soc., **1954**, 3052.
[4] R. B. Woodward et al., J. Am. Chem. Soc., **76**, 4749 (1954); R. B. Woodward, Experientia Supplementum II (1955).
[5] E. C. Kornfeld et al., J. Am. Chem. Soc., **76**. 5256 (1954); **78**, 3087 (1956).
[6] R. B. Woodward et al., J. Am. Chem. Soc., **78**. 2023 (1956).
[7] W. E. Bachmann, W. Cole and A. L. Wilds, J. Am. Chem. Soc., **61**, 974 (1939); **62**, 824 (1940).
[8] G. Anner and K. Miescher, Helv. Chim. Acta, **31**, 2173 (1948); **32**, 1957 (1949); **33**, 1379 (1950).
[9] W. S. Johnson et al., J. Am. Chem. Soc., **74**, 2832 (1952).
[10] H. M. E. Cardwell, J. W. Cornforth, S. R. Duff, H. Holtermann, R. Robinson, J. Chem. Soc., **1953**, 361.
[11] R. B. Woodward et al., J. Am. Chem. Soc., **74** 4223 (1952).
[12] L. H. Sarett et al., J. Am. Chem. Soc., **74**, 4974 (1952).
[13] W. S. Johnson et al., J. Am. Chem. Soc., **78**, 6278 (1956).
[14] R. U. Lemieux and G. Huber, J. Am. Chem. Soc., **75**, 4118 (1953); **78**, 4117 (1956).
[15] V. du Vigneaud et al., J. Am. Chem. Soc., **76**, 3115 (1954).
[16] J. Baddiley et al., J. Chem. Soc., **1949**, 582; S. M. H. Christie et al., ibid., **1954**, 46.
[17] Y. Abe et al., Proc. Japan. Acad., **30**, 116, 119 (1954); J. Am. Chem. Soc., **75**, 2567 (1953); **77**, 1416 (1955); **78**, 1416, 1422 (1956).
[18] R. B. Woodward et al., and D. H. R. Barton et al., J. Am. Chem. Soc., **76**, 2852 (1954); J. Chem. Soc., **1957**, 1131.
[19] J. Controulis et al., J. Am. Chem. Soc., **71**, 2463 (1949).
[20] J. C. Sheehan et al., J. Am. Chem. Soc., **79**, 1262 (1957).
[21] K. Gerzon et al., J. Am. Chem. Soc., **78**, 6396 (1956); Chem. and Eng. News, **34**, 5138 (1956).
[22] R. B. Woodward et al., Nature, **165**, 928 (1950); J. Am. Chem. Soc., **71**, 758, **72**, 1428, 5351 (1950); Experientia, **6**, 238 (1950).
[23] R. Robinson et al., J. Chem. Soc., **1932**, 789; C. Schöpf et al., Ann., **497**, 22 (1932).
[24] J. Ewing et al., Nature, **169**, 618 (1952).
[25] E. C. duFeu, F. J. McQuillin and R. Robinson, J. Chem. Soc., **1937**, 53.
[26] D. H. R. Barton et al., J. Chem. Soc., **1955**, 2056.
[27] P. Karrer, Helv. Chim. Acta, **33**, 1172 (1950); H. H. Inhoffen et al., Ann., **569**, 237 (1950); **573**, 1 (1951).
[28] S. S. Nigam and B. C. L. Weedon, Chemistry & Industry, **1955**, 1555.
[29] L. Crombie and A. G. Jacklin, Chem. & Industry, **1955**, 1186.
[30] H. Lindlar, Helv. Chim. Acta, **35**, 446 (1952).
[31] G. Wittig and U. Schöllkopf, Chem. Ber., **87**, 1318 (1954).
[32] S. Trippett, Chemistry & Industry, **1956**, 80.

毫米波段波导管远距离傳輸研究方面的新發展

黄 武 汉

(中国科学院电子学研究所筹备委员会)

利用毫米波波段的波导管傳輸系統是中距离和远距离發送訊号的最新类型。这种傳輸訊号的方法和以前的类型完全不同，它的特点是傳輸容量非常巨大，比微波接力中繼綫路大許多倍，而且初步研究結果指出它是非常經济的[1]。

一方面，由于波导管的一些优良特性，如極寬的通頻带，不受外界气候、天然的及人为的干扰影响，極低的衰耗等，使人們預期到在毫米波波段采用它作远距离傳輸的現实性。另一方面，当波长小于3厘米时，大气中氧气、水蒸气对無綫电波的吸收使無綫电波在空中的远距离傳播受到妨碍。因此，对于比3厘米更短的波长，人們就需要用波导作远距离的傳輸了。

为了实現远距离傳輸，必須利用圓波导，使信号工作于 TE_{01} 波型上；并利用毫米波使波导尺寸不致太大，同时也可得到傳送極寬頻带和極低衰耗等优点。

这种波导通訊綫的出現可以允許重新組織所有城市間的电話通訊。实际上如果一根波导能容納几十万