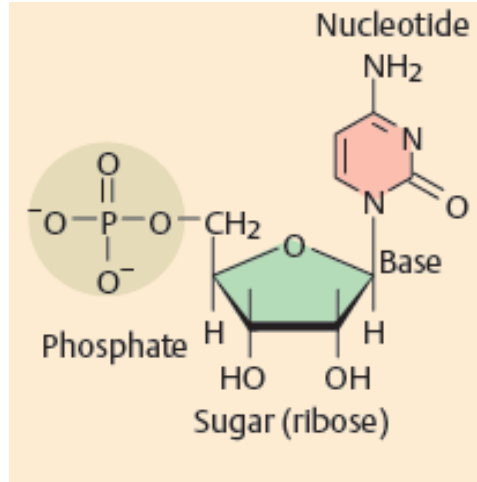


3- حامض الفوسفوريك Phosphoric acid

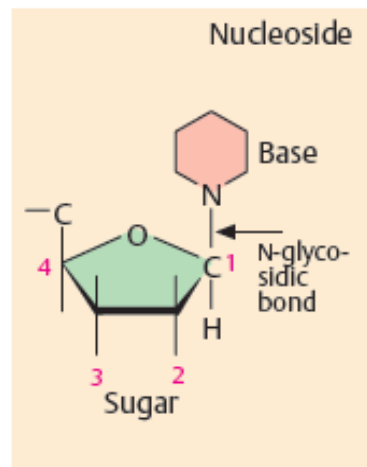
إن مجاميع الهيدروكسيل في المواقع 2' ، 3' ، 5' لسكر الرايبوز وفي المواقع 3' ، 5' لسكر الديوكسي رايبوز يمكن أن تتأستر مع حامض الفوسفوريك لتوليد نيوكليوتيدات (الشكل 8-8) التي تشارك في تكوين الأحماض النووية.



الشكل (8-8): مجموعة الفوسفات في موقع رقم 5' لسكر الرايبوز في النيوكليوتيد.

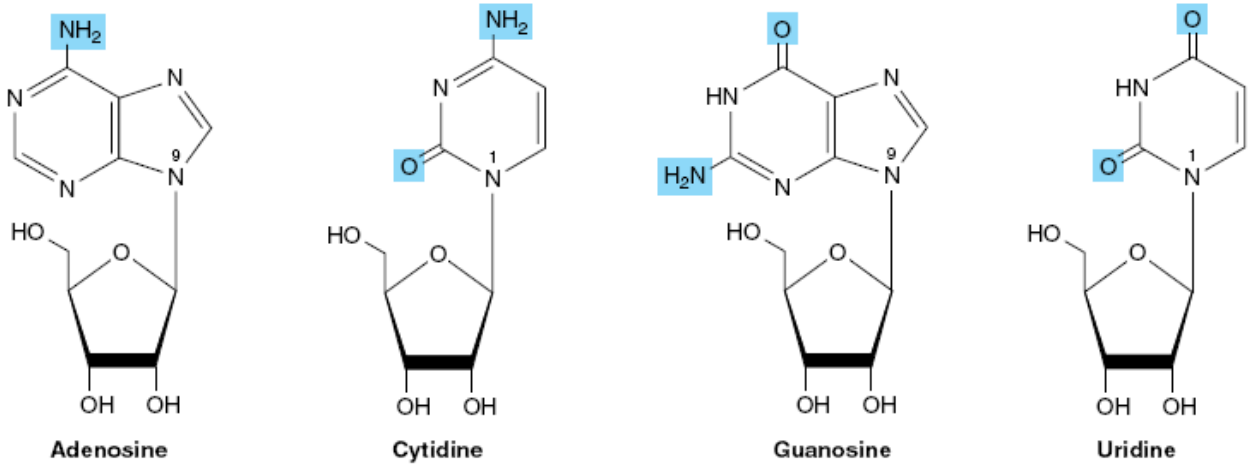
النيوكليوسيدات Nucleosides

تتكون النيوكليوسيدات بصورة عامة من قاعدة بيورينية أو بريمدينية مرتبطة مع السكر الخماسي (الرايبوز أو الديوكسي رايبوز) وذلك من خلال آصرة كلايكوسيدية Glycosidic linkage من نوع بيتا (β) (إذا كانت مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بالكربون للسكر إلى الأعلى) وهو ارتباط بين ذرة كربون رقم واحد للسكر مع ذرة النيتروجين في الموقع رقم 9 للبيورين أو مع ذرة النيتروجين في الموقع رقم واحد للبريميدين (الشكل 8-9) وهناك نوعان من النيوكليوسيدات هما:



الشكل (8-9): تكوين الآصرة الكلايكوسيدية N-glycosidic bond.

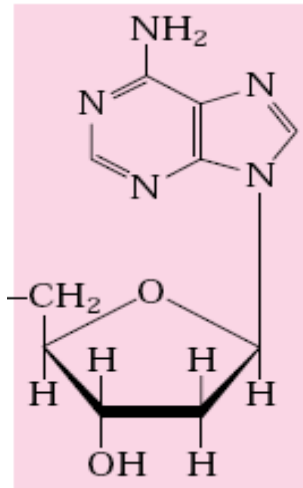
1- النيوكلوسيدات الرايبوزية **Ribonucleoside** إن القواعد النيتروجينية التي تحتوي على سكر الرايبوز مثل الأدينين تسمى أدينوسين Adenosine والسيتوسين الحاوي على رايبوز يسمى سايتدين Cytidine وكذلك الكوانسين Guanosine واليوردين Uridine (الشكل 8-10).



الشكل (8-10): الرايبونيكليوسيدات

2- النيوكلوسيدات الديوكسي رايبوزية **Deoxyribonucleoside** إن القواعد النيتروجينية التي تحتوي على سكر الديوكسي رايبوز مثل الأدينين الحاوي على ديوكسي رايبوز يسمى 2'-ديوكسي أدينوسين Deoxyadenosine - 2' والسيتوسين الحاوي على ديوكسي رايبوز يسمى 2'-ديوكسي سايتدين Deoxycytidine (الشكل 8-11) وهكذا يلاحظ إن النيوكلوسيدات المشتقة من البيورينات تنتهي بالمقطع (وسين) osine أما النيوكلوسيدات المشتقة من البريميدينات تنتهي بالمقطع (دين) idine (الجدول 8-2).

يمكن الحصول على النيوكلوسيدات من النيوكلوتيدات وذلك بتحلل حامض الفسفوريك من الأخيرة بواسطة بعض الإنزيمات أو بفعل محلول قاعدي.



الشكل (8-10): 2'-ديوكسي أدينوسين.

النوكليوتيدات Nucleotides

النوكليوتيدات هي مركبات ناتجة من أسترة للنوكليوسيدات بحامض الفوسفوريك مع إحدى مجاميع الهيدروكسيل الحرة للسكر الخماسي أي أن:

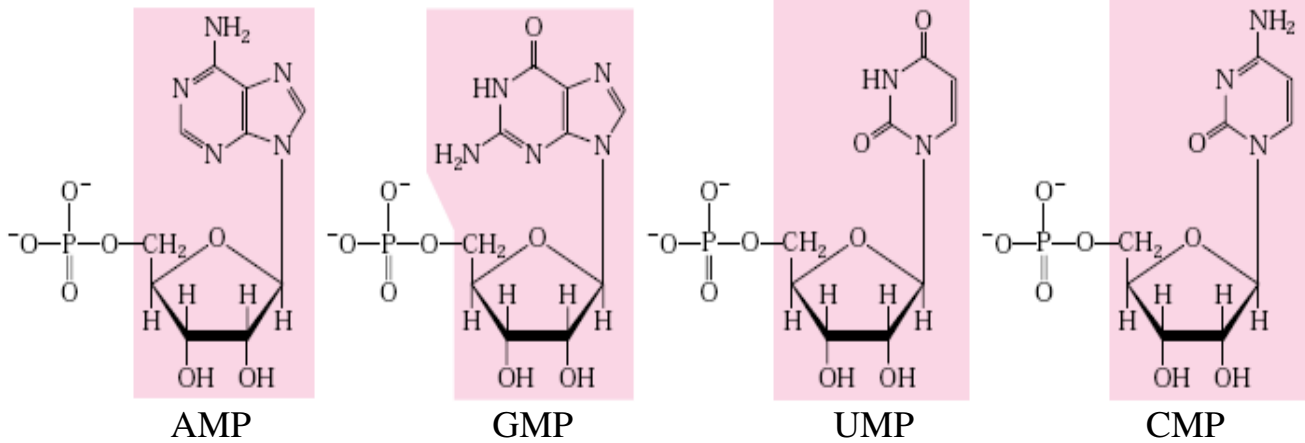
النوكليوتيد = نوكليوسيد (قاعدة نيتروجينية مع سكر خماسي) + حامض الفوسفوريك

وكما هو الحال مع النوكليوسيدات هناك نوعان من النوكليوتيدات (الجدول 8-1 و 8-2):

1- النوكليوتيدات الرايبوزية : التي تحتوي على سكر الرايبوز لاحظ (الجدول 8-1) الذي يشمل أنواع النوكليوتيدات الرايبوزية و (الشكل 8-11) يوضح تركيبها الكيميائية.

الجدول (8-1) : تسمية القواعد عند تحولها الى الرايبونيكليوسيدات والرايبونيكليوتيدات.

القاعدة النيتروجينية والرمز	الرايبونيكليوسيدات	الرايبونيكليوتيدات والرمز
أدينين (A)	أدينوسين	أدينوسين أحادي الفوسفات (AMP)
كوانين (G)	كوانوسين	كوانوسين أحادي الفوسفات (GMP)
يوراسيل (U)	يوريدين	يوردين أحادي الفوسفات (UMP)
سايروسين (C)	ساييتدين	ساييتدين أحادي الفوسفات (CMP)

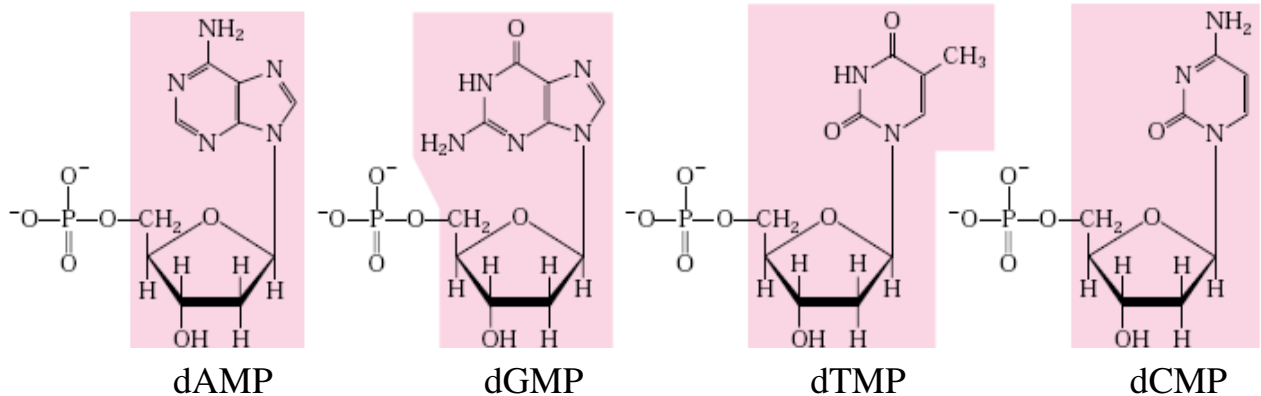


الشكل (8-11): التراكيب الكيميائية للنوكليوتيدات الرايبوزية.

2- النوكليوتيدات الديوكسي رايبوزية: إن النوكليوتيدات التي تحتوي على سكر ديوكسي رايبوز لاحظ (الجدول 8-2) والذي يشمل أنواع النوكليوتيدات الديوكسي رايبوزية والشكل (8-12) يوضح تركيبها الكيميائية.

جدول (2-8): تسمية القواعد عند تحولها الى الديوكسي رايبونيكليوسيدات والديوكسي رايبونيكليوتيدات.

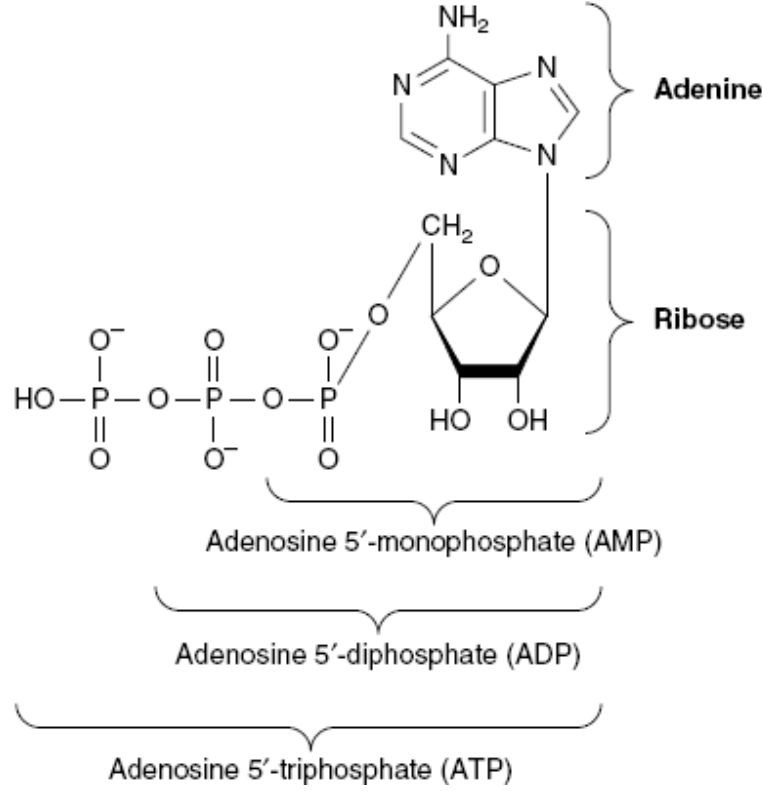
القاعدة النيتروجينية والرمز	الديوكسي رايبونيكليوسيدات	الديوكسي رايبونيكليوتيدات والرمز
أدينين (A)	ديوكسي أدينوسين	ديوكسي أدينوسين أحادي الفوسفات (dAMP)
كوانين (G)	ديوكسي كوانوسين	ديوكسي كوانوسين أحادي الفوسفات (dGMP)
ثايمين (T)	ديوكسي ثايميدين	ديوكسي ثايميدين أحادي الفوسفات (dTMP)
سايروسين (C)	ديوكسي سايتيدين	ديوكسي سايتيدين أحادي الفوسفات (dCMP)



الشكل (12-8): تراكيب النيوكليوتيدات الديوكسي رايبوزية.

وكما هو معلوم توجد مجموعتان أو أكثر من مجاميع الهيدروكسيلية الحرة التي يمكن من خلالها مهاجمة مجموعة الفوسفات لتكوين الإستر ففي حالة النيوكليوتيدات الديوكسي رايبوز هناك موقعان فقط وهما 3' و 5' لتتأثر مع حامض الفوسفوريك أما النيوكليوتيدات الرايبوزية فهناك ثلاثة مواقع وهم 2' و 3' و 5' يمكن أن تكون فيها مجموعة الفوسفات والتي وجدت جميعها بوصفها نواتج التحليل المائي للحامض النووي الرايبوزي وبوساطة التحلل باستخدام مجموعة من الإنزيمات تسمى نيكلييز Nuclease.

إن الخلايا الحية تحوي أيضاً على النيوكليوسيدات الثنائية أو ثلاثية الفوسفات (في الموقع رقم 5') فمثلاً الأدينوسين الأحادي الفوسفات يمكن أن يكون أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP وأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP (الشكل 13-8). إن مجاميع الفوسفات لهذه المركبات يرمز لها بالرموز α و β و γ وكذلك بقية القواعد الأحادية الفوسفات.

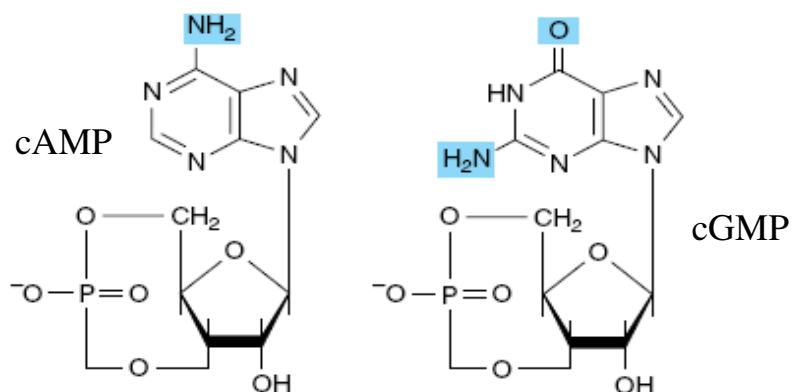


الشكل (8-13): تراكيب AMP و ADP و ATP.

هناك بعض النيوكليوتيدات تنتج من التحلل المائي لبعض الروابط النيوكليوتيدية الرايبوزية في RNA والتي تكون غير شائعة تحوي مجموعة الفوسفات في الموقع 2' أو 5' من السكر الرايبوزي.

النيوكليوتيدات الحلقية Cyclic nucleotides

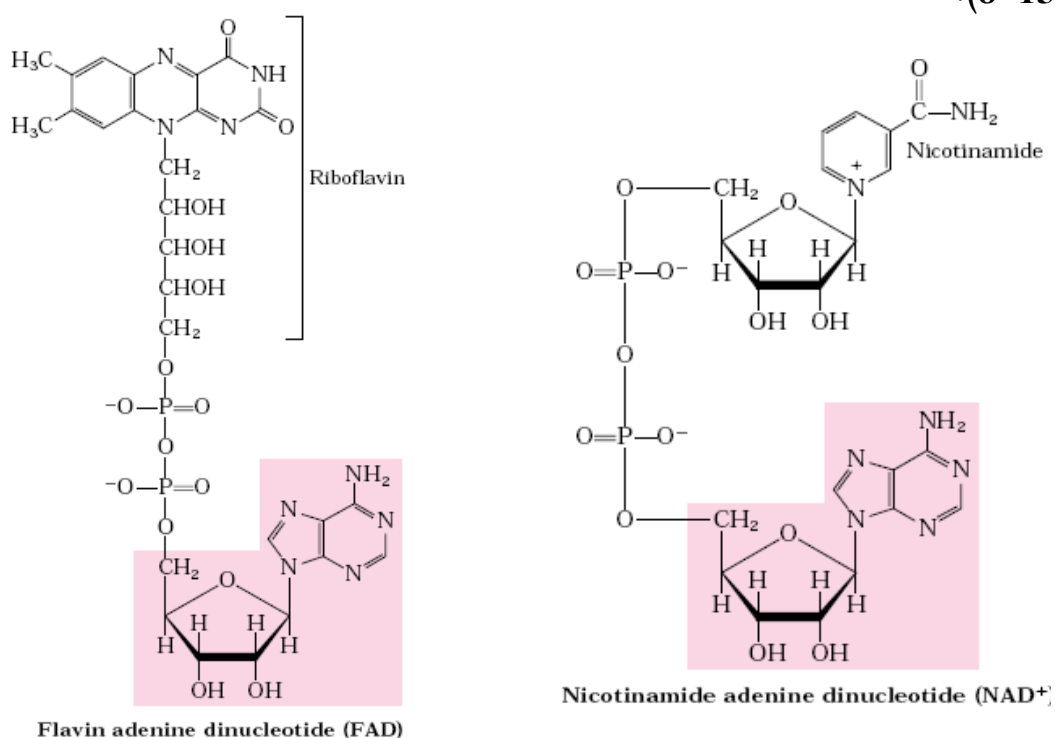
تتكون النيوكليوتيدات الحلقية من أسترة مجموعة الفوسفات مع ذرتي كاربون، ومثال ذلك أدينوسين 3' ، 5' - أحادي الفوسفات الحلقي (cAMP) Adenosine 3' ، 5' - cyclicmonophosphate والكوانوسين 3' ، 5' - أحادي الفوسفات الحلقي (cGMP) Guanosine 3' ، 5' - cyclicmonophosphate. تلعب هذه النيوكليوتيدات دوراً مهماً في العمليات الأيضية لعدد من الهرمونات وقد أطلق عليها المرسل أو الرسول الثاني Second messenger ، لأنها تعمل على نقل وتجسيم الإشارات الكيميائية التي تصل عن طريق الدم من الهرمونات (تسمى الهرمونات بالمرسل الأول (First messenger)).



الشكل (8-14): أدنوسين 3' ، 5' - أحادي الفوسفات الحلقي والكوانوسين 3' ، 5' - أحادي الفوسفات الحلقي.

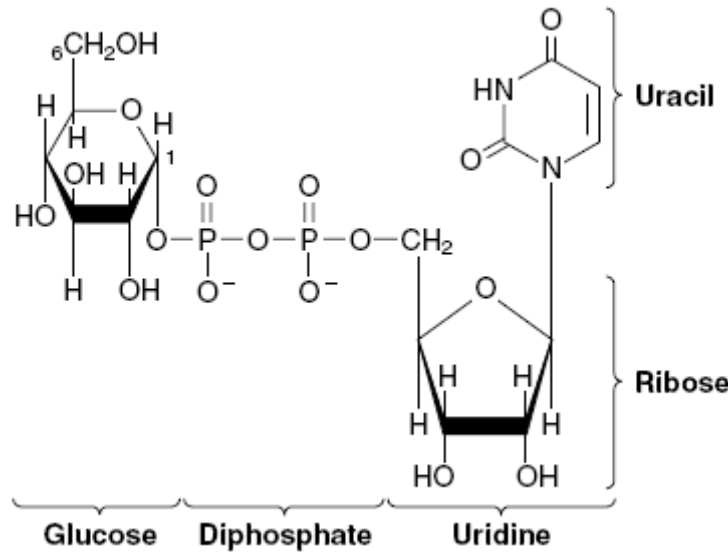
النيوكليوتيدات المقترنة Conjugated Nucleotides

النيوكليوتيدات المقترنة عبارة عن رايبونيوكلوتيدات أو الديوكسي رايبونيوكلوتيدات مرتبطة مع مجاميع مستبدلة وتحتوي هذه المركبات أيضاً على مجموعة فوسفات أحادية أو ثنائية الفوسفات، والتي لها وظائف بايولوجية مهمة وتدخل بوصفها مرافقات إنزيمية (Coenzymes) أثناء بناء الدهون أو السكريات أو تفاعلات الأكسدة والاختزال ومثال ذلك: مساعد الإنزيم نيكوتنأמיד أدنين ثنائي النيوكليوتيد Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD^+) ونيكوتنأמיד أدنين ثنائي النيوكليوتيد فوسفات (NADP^+) والفلافين أدنين ثنائي النيوكليوتيد Flavin adenine dinucleotide (FAD) والفلافين أدنين أحادي النيوكليوتيد Flavin adenine mononucleotide (FMD) ومرافق الإنزيم A (Coenzyme A) (الشكل 8-15).



الشكل (8-15): تركيب النيوكليوتيدات المقترنة FAD و NAD^+ .

فضلاً عن وظائفها بوصفها مرافقات إنزيمية، يمكن أن تستخدم أيضاً نواقل متخصصة لبعض الوحدات البنائية للجزيئات مثال ذلك اليوردين ثنائي فوسفات (UDP) الذي يستخدم ناقلاً متخصصاً لوحدة سكر الكلوكوز أثناء البناء الحيوي للسكريات المتعددة (الشكل 8-16) ويستخدم كذلك نيوكليوتيد السايدين ثنائي الفوسفات Cytidine diphosphate choline ناقلاً لمجاميع الكولين لبناء الدهون المفسرة.



الشكل (8-16): يوردين ثنائي فوسفات الكلوكوز.

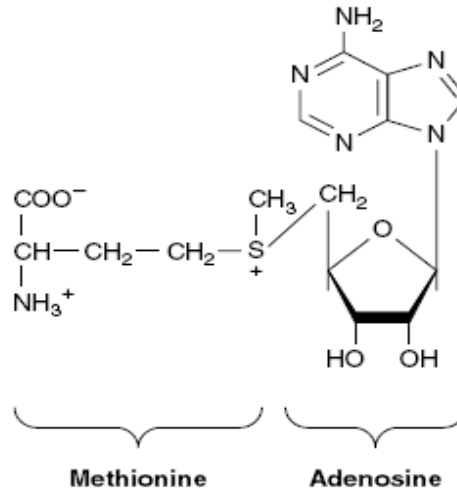
وظائف النيوكليوتيدات

- 1- تعد بعض النيوكليوتيدات مركبات حاملة للطاقة الكيميائية في الخلايا مثل ATP و GTP وان الشكل الرئيس للطاقة الكيميائية هو الأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP إذ يستهلك ATP في تفاعلات أيضية مختلفة وتشارك أيضاً في عمليات أخرى مثل تقلص العضلات والنقل الفعال عبر الأغشية ومصدراً للفوسفات (واهباً لمجموعة فوسفات).
- 2- دور النيوكليوتيدات بوصفها وحدات بنائية متكررة في الأحماض النووية (DNA و RNA). إذ تستخدم جزيئات ATP, CTP, GTP, UTP كوحدات لبناء RNA. وجزيئات dCTP, dGTP, dTTP في بناء DNA.
- 3- دورها بوصفها وسائط فسيولوجية للعديد من العمليات الحياتية فمثلاً تشارك النيوكليوتيدات الحلقية مرسلات ثانياً للعديد من الهرمونات.
- 4- تدخل النيوكليوتيدات بوصفها مكونات للعديد من المرافقات الإنزيمية مثل NAD^+ , $NADP^+$, FAD و مرافق الإنزيم A والتي تدخل في العديد من التفاعلات الأيضية المختلفة.
- 5- بعض النيوكليوتيدات تدخل بوصفها نواتج وسطية ناقلة للعديد من التفاعلات مثال ذلك اليوردين ثنائي الفوسفات كلوكوز UDP-glucose ويوردين ثنائي الفوسفات - كاللاكتوز UDP-galactose ويوردين

ثنائي الفوسفات لحامض الكلوكورونيك UDP-glucuronic والكوانوسين ثنائي الفوسفات مانوز GDP-mannose وتستخدم هذه المركبات لبناء الكلايكوجين وأيض الكلاكتوز والبليوروبين أو نقل وحدات السكر أثناء بناء البروتينات السكرية.

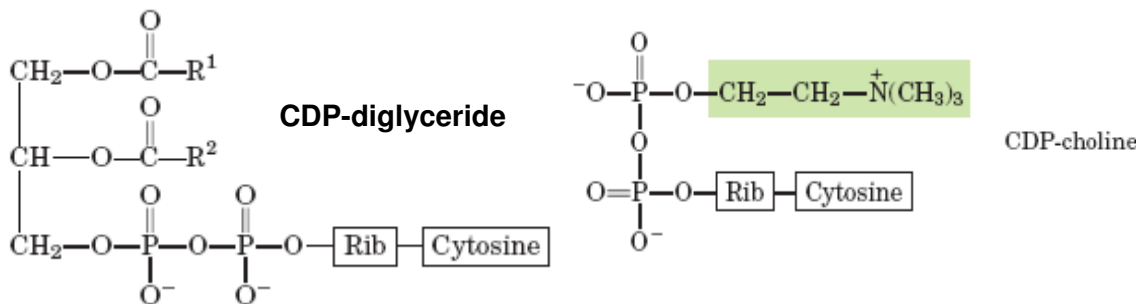
6- تدخل بعض النيوكليوتيدات بوصفها منظمات ألوستيرية Allosteric في المسارات الأيضية من خلال تراكيزها في الخلية فمثلاً نسبة ATP إلى ADP تؤثر على تفاعلات مسار الكلايكوليسيز Glycolysis إذ أن زيادة النسبة أو نقصانها تؤدي إلى تثبيط أو تنشيط بعض إنزيمات المسار.

7- تعد بعض النيوكليوتيدات ناقلة لبعض المجاميع الفعالة، فعلى سبيل المثال تنقل جزيئة ATP مجموعة الميثيل الفعالة Active methyl وتحمل جزيئة AMP الأحماض الأمينية الفعالة أثناء بناء البروتينات فيلاحظ إن مشاركة الحامض الأميني ميثونين في التفاعلات عبر إضافة مجموعة الميثيل تحتاج في البداية تكوين الميثونين النشط وقد وجد بأن هذا المركب هو في الواقع نيوكليوسيد أدينيني هو S-Adenosyl methionine (الشكل 8-17).



الشكل (8-17): S- أدينوسيل الميثونين.

8- السايدين يستفاد منه في بناء سايتدين ثنائي الفوسفات كولين Cytidine diphosphate choline (CDP-choline) وسايدين ثنائي الفوسفات ثنائي الكلسيريد Cytidine diphosphate diglyceride (CDP-diglyceride) (الشكل 8-18) الذين يدخلان في عملية بناء الدهون والدهون المفسفرة.



الشكل (8-18): سايتدين ثنائي الفوسفات كولين CDP-choline وسايدين ثنائي الفوسفات ثنائي الكلسيريد CDP-diglyceride .