دورة الفسفور

يدخل الفوسفور النبات لسد احتياجاته لمختلف العمليات الحيوية مثل: عمليات التمثيل الضوئي، وتكوين النواة، وانقسام الخلايا، وتكوين البذور، وتنظيم العمليات الخلوية ونقل الصفات الوراثية ، كما أن للفوسفور دوراً أساسياً في تكوين مركبات الطاقة. ومن أهم الوظائف الحيوية للفوسفور ما يلي أنه :

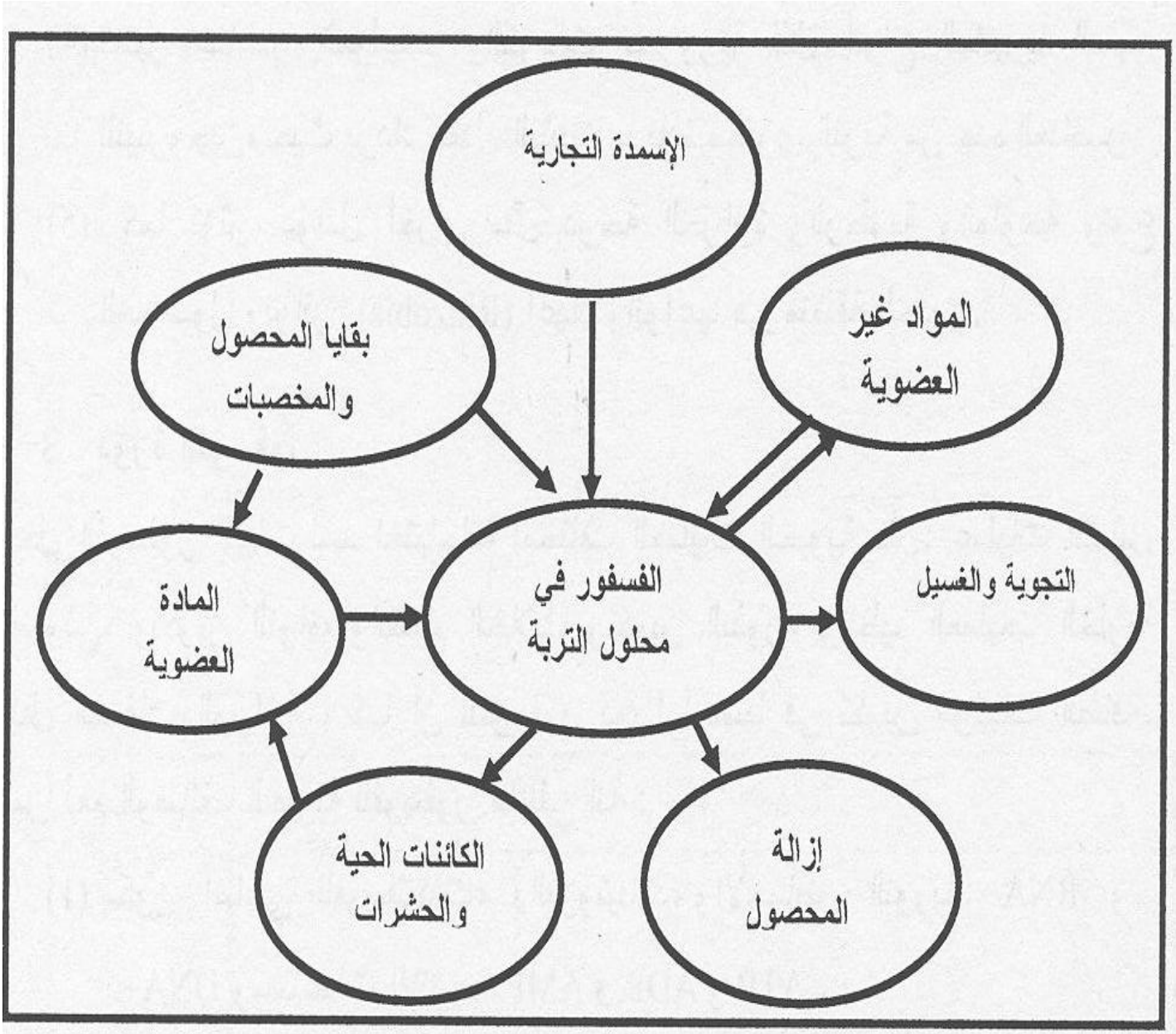
(1) مكوّن أساسي للفوسفتيدات، والبروتينات، والأحماض النووية: RNA و DNA ومساعدات الإنزيم AMP و ADP و ATP .

(2) يدخل في تركيب العديد من الأحماض الأمينية .

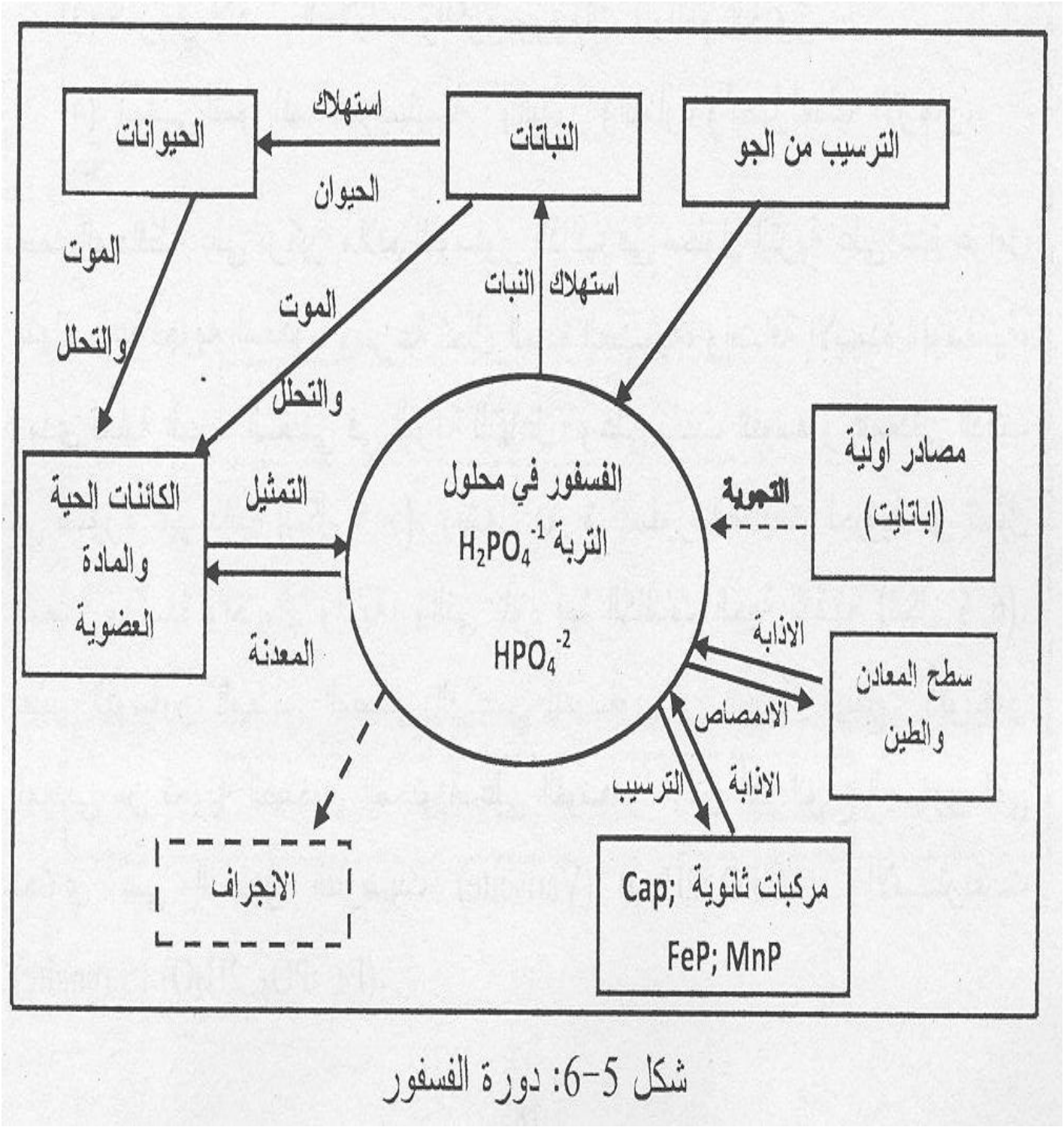
(3) ضروي لانقسام الخلايا ، وللكروموزومات ، ولنمو الجذور.

(4) أساسي لنمو القمة المريستيمية، والبذور والثمار، وأيضاً لعملية الإزهار.

تعتمد المحافظة على تركيز ملائم للفوسفور الذائب في محلول التربة على عدة عوامل منها سرعة تجوية المعادن، وسرعة تحلل المادة العضوية، وإضافة الأسمدة الفوسفاتية، ومدى قابلية الجزء المعدني في التربة للتفاعل، وعلى تثبيت الفوسفور المعدني الذائب في صورة غير ذائبة (شكل 5-5). وتشمل دورة الفسفور العمليات الحيوية من تمثيل ومعدنة وأكسدة واختزال وإذابة، والتي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة (شكل 5-6). يعتبر الفوسفور المعدني المصدر الرئيسي للفوسفور في التربة. وينتج الفوسفور المعدني من تجوية الصخور المحتوية على الفوسفور. ومن أهم أنواع الصخور التي تحتوي على الفسفور الفارسايت (Variscite) ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$) والاسترنقايت (Strengite) ($Fe^{3+}PO_4 . 2H_2O$).



شكل 5-5: العوامل المؤثرة في الفسفور في محلول التربة



شكل 5-6: دورة الفسفور

أما الفوسفور العضوي في التربة فإن مصدره هو المادة العضوية الناتجة من جذور وبقايا النباتات والأسمدة العضوية المضافة . ويضم الفوسفور العضوي بالتربة العديد من المركبات منها: فوسفات الإينوسيتول (Inositol phosphates) 2-50%؛ والفوسفوليبيدات (Phospholipids) 1-5%؛ والأحماض الأمينية (Nucleic acids) والفوسفوبروتينات (Phosphoproteins) 0.2-0.5%. وتتفاوت المركبات الفوسفورية العضوية الموجودة في التربة وفي أجزاء النباتات ومخلفات الحيوانات في سرعة تحللها (شكل5 -7) .

➢ اذابة الفسفور العضوي :

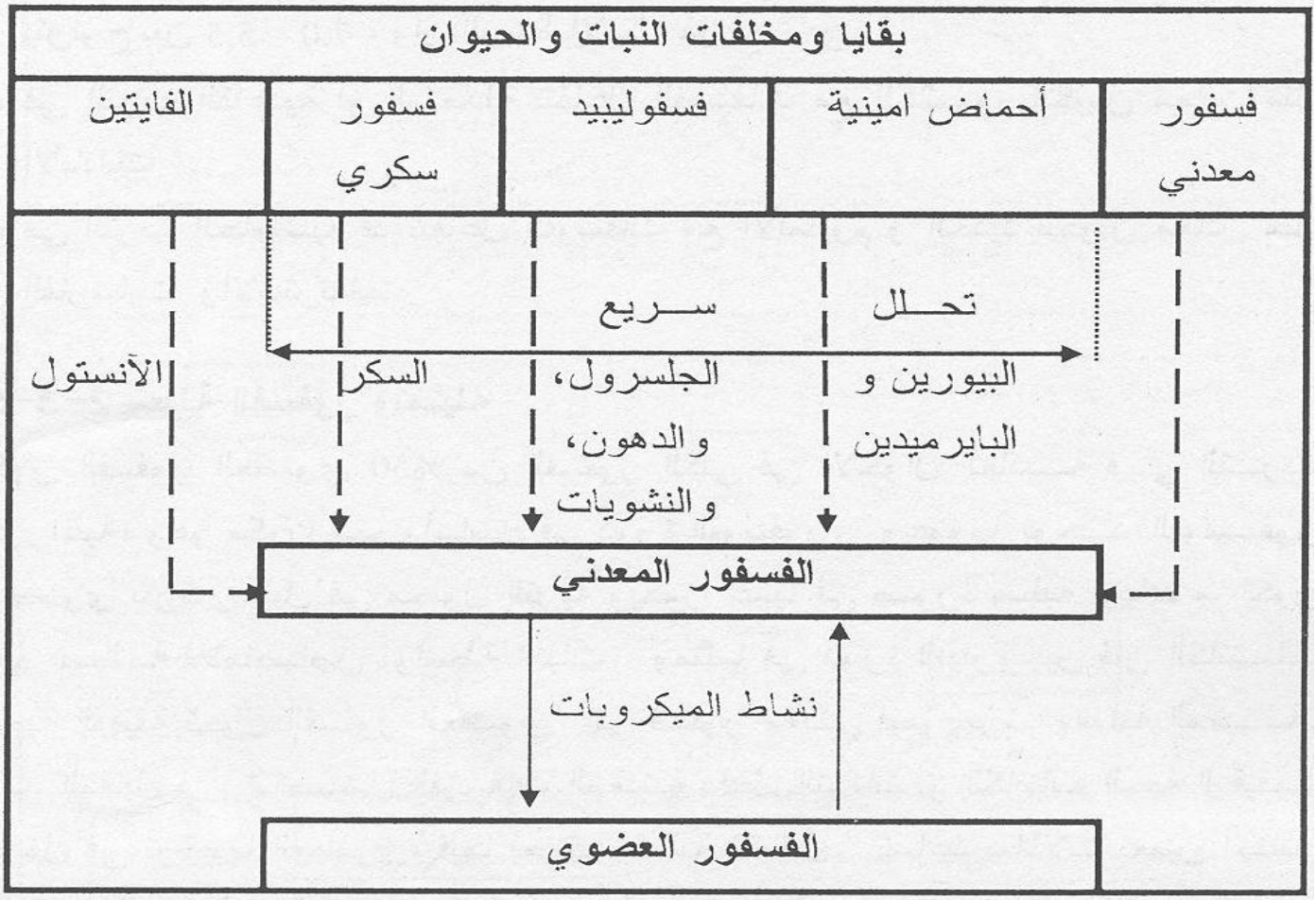
تُعتبر جميع مركبات الفوسفور قليلة الذوبان في الماء مما يؤثر سلباً على الكمية الميسّرة من هذا العنصر للنبات. تحوّل بعض الكائنات الحية الدقيقة الفسفور غير الذائب إلى فسفور في صورة متاحة يمكن امتصاصها، وتشمل هذه الكائنات من البكتيريا: *Pseudomonas, Micrococcus, Bacillus* ومن الفطريات: *Penicillium, Fusarium, Aspergillus*. كما تُعتبر رقم pH في التربة من أهم العوامل في تحديد إذابة الفسفور من الصخور وجعله متاحا للنبات ، ويتضح ذلك من الآتي:

- يكون الفوسفور ميسراً ومتاحاً في التربة لمعظم المحاصيل الزراعية في مدى pH يتراوح بين 5.5 – 7.0 ، وأن الوسط الأمثل هو 5.6 درجة.
- في الترب القاعدية أو المتعادلة تتفاعل الفوسفات مع الكالسيوم لتكوين معادن مثل الأباتايت.
- في الترب الحامضية قد تتفاعل الفوسفات مع الألمنيوم و الحديد لتكوين معادن مثل الفارسايت والاسترنقايت.

- **معدنة الفسفور و تمثيله :**

يكوّن الفسفور العضوي 50% من الفسفور الكلي في الأحوال العادية في التربة الزراعية، وهو مكوّن مهم وأساسي في دورة الفوسفور. وعموما يوجد الفوسفور العضوي بتركيز قليل في محلول التربة ويكون غالبا فى صورة صلبة وعادة ما تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات. ومثلما في دورة النيتروجين فإن الكائنات الحية الدقيقة تحوّل الفسفور العضوي إلى فسفور معدني فيما يُعرف بعملية المعدنة. وفي المقابل فإن امتصاص الفوسفات المعدنية داخل النباتات و الكائنات الحية الدقيقة لتدخل في تركيبها العضوي، فيما يُعرف بعملية التمثيل. تساعد سلالات بعض أجناس الكائنات الحية الدقيقة في معدنة الفسفور العضوي مثل: *Rhizopus* و *Penicillium* و *Aspergillus* من الفطريات، و *Streptomyces* و *Arthrobacter* و *Bacillus* و *Pseudomonas* من البكتيريا. وتقوم فطريات الميكوريزا من أنواع *Glomus* بدور مهم في معدنة الفسفور العضوي. وتتأثر العمليتان بعوامل عديدة منها: درجة الحرارة، والرطوبة، والتهوية. وتعتمد عمليتا المعدنة والتمثيل على نسبة الكربون للفسفور كالآتي:

- إذا كانت نسبة P:C أقل من 1:200 فإن عملية المعدنة ستسود، ويعني ذلك أنه يوجد فسفور كافٍ في التربة لكل من النباتات و الكائنات الحية.
- إذا كانت نسبة P:C بين 1:200 و 1:300 فإن التكافؤ يسود بين العمليتين.
- إذا كانت نسبة P:C أكبر من 1:200 فإن عملية التمثيل ستسود، ويعني ذلك أنه لايوجد فسفور كافٍ في التربة لكل من النباتات و الكائنات الحية.



شكل 5-7 العلاقة بين الفسفور المعدني والعضوي

اكسدة الفسفور واختزاله :

يوجد الفسفور في عدة درجات من الأكسدة ابتداء من الفوسفين [PH_3(3-)] إلى حامض الفسفوريك H_3PO_4 (5+). وتقوم بعض أفراد البكتيريا غير ذاتية التغذية وبعض الفطريات بأكسدة الفوسفايت HPO_4^{2-} إلى فوسفات PO_4^{3-} كما تستطيع بعض أنواع البكتيريا أن تحول الهايبوفوسفيت إلى فوسفات كما في المعادلة الآتية:

$$H_2PO_2^{1-} \longrightarrow HPO_3^{2-} \longrightarrow PO_4^{3-}$$

تقوم بعض أجناس البكتيريا مثل *Clostridium* و*Escherichia* باختزال الفوسفات في حالة الظروف اللاهوائية كما في المعادلة الآتية:

$$H_3PO_2 \longrightarrow H_3PO_3 \longrightarrow H_3PO_4$$

رقم التأكسد	1+	3+	5+
	هايبوفوسفيت	فوسفيت	فوسفات

تفرز بكتيريا *Pseudomonas stutzeri* WM88 إنزيم NAD:phosphite oxidoreductase أثناء أكسدتها للفسفور. وقد وجد أن البرق (Lightning) يلعب دوراً كبيراً ومهماً في إختزال الفسفور في الطبيعة.