تثبيت العناصر الغذائيه في التربة Fixation of plant nutrients

يمكن تعريف تثبيت العناصر الغذائية في التربة بانها تلك العملية التي ينتج عنها تحول العنصر من حالة ميسوره او جاهزه للنبات الى حالة اقل تيسرا او غير ميسور او غير جاهزة للنبات بحيث ينتج عنها نقص في تجهيز العنصر رغم توفره من الناحية الكمية. اي ان العنصر ينطلق بسرعة غير كافية لتعويض الفقد نتيجة الامتصاص. من اهم العناصر التي سنركز عليها هي الفوسفور والبوتاسيوم والامونيوم وكلها يحتاجها النبات بكميات كبيرة.

تثبيت الفوسفور Phosphorus fixation

تقدر كمية ما يمتصه النبات من الفوسفور المضاف بحوالي 10–30% اما الباقي منه يستهلك بواسطة الاحياء الدقيقة في التربة والجزء الاعظم منه يثبت في التربة بشكل مترسب او ممتز على معقد التفاعل.

في كل هذة التفاعلات فأن الفوسفور يدخل بأحدى حالاته الايونية التي يمكن ان تتكون من حامض الفوسفوريك. لقد حسب Buchrer 1932 العلاقة بين الرقم الهيدروجيني والتركيز للحامض غير المتأين (H_3PO_4) والتركيز النسبي للايونات الثلاثة للفسفور وهي $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} و PO_4^{-3} وكما هي موضحة في الجدول التالي مستعملا ثابت التعادل لجميع احتمالات تأين الحامض وكان التركيز الكلي لحامض الفوسفوريك هو واحد جزء بالمليون.

pH	H_2PO4^0	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{--}	PO_4^{---}
3	$8.6X10^{-7}$	$9.5X10^{-6}$	$1.9X10^{-8}$	$6.8X10^{-19}$
4	$9.3X10^{-8}$	$1.2X10^{-5}$	$2.05X10^{-8}$	$7.4X10^{-17}$
5	$9.1X10^{-9}$	$1.02X10^{-5}$	$2.02X10^{-7}$	$7.3X10^{-15}$
6	$7.8X10^{-10}$	$8.2X10^{-6}$	$1.71X10^{-6}$	$6.2X10^{-13}$
7	$3.1X10^{-11}$	$3.4X10^{-6}$	$6.9X10^{-6}$	$2.47X10^{-11}$
8	$4.5X10^{-13}$	$4.9X10^{-7}$	$9.8X10^{-6}$	$3.53X10^{-10}$
9	$4.6X10^{-15}$	$5.1X10^{-8}$	$1.02X10^{-5}$	$3.7X10^{-9}$
10	$4.8X10^{-17}$	$5.2X10^{-10}$	$1.03X10^{-5}$	$3.7X10^{-7}$

ويتضح من هذة الحسابات انه تحت رقم هيدروجيني بين 4–8 وهو المدى الاعتيادي في التربة فان الايونيين HPO_4^{-2} $H_2PO_4^-$ هما الايونان الرئيسان للفوسفات في التربة وانه تحت رقم هيدروجيني 6.7 فما دون يسود الايون $H_2PO_4^-$ بينما يسود الايون HPO_4^{--} فوق هذا الحد من التفاعل. كما يلاحظ انه بعد رقم هيدروجيني 9 يصبح الايون PO_4^{-3} اكثر اهمية، ولكن حتى تحت رقم هيدروجيني 12 فأن الايون PO_4^{-3} يربو على الايون $H_2PO_4^{2-}$ ومنه يتضح ايضا ان كل تفاعلات الفوسفور في التربة تتأثر الى حد ما بفعالية ايون الهيدروجين فيها. ان اهم تفاعلات الفوسفور في التربة هي:

1 _ تفاعلات الامدصاص Adsorption reactions

ان تفاعلات الامدصاص (الامتزاز) التي يمكن ان تؤدي الى تثبيت الفوسفات يمكن ان تقسم الى قسمين حسب طبيعتها وهي امدصاص فيزيائي واخر كيميائي. فالامدصاص الفيزيائي هو نتيجة امدصاص ايون الفوسفات الكبيرة الحجم نسبيا على السطوح الغروية الواسعة بسبب وجود الجهد السطحي (Surface potential) اما الكيميائي او الكهروكيميائي فأنه يعني انجذاب ايون الفوسفات الى السطوح الغروية المشحونة او اتحادها بأيونات الالومنيوم الموجودة على النهايات الغروية. لقد اوضحت العديد من الدراسات ان امدصاص الفوسفات ليس امدصاصا اعتياديا كالذي يحصل عند امدصاص الكتيونات الاخرى فهو مزيج بين الامدصاص الاعتيادي والامتصاص داخل الفراغات المتناهية الصغر والترسب فيها ولذلك يطلق عليه احيانا بالامتزاز Sorption التي هي مزيج من الامدصاص وامتصاص وان هذة العملية لاتكون كلها بنفس السرعة بل ان قسما منها يكون سريعا والاخر ببطئ جدا وغير عكسي. ففي دراسة قام بها Muljadi et al.,1966 وجماعته على امدصاص الفوسفات على معدن الكاولبنايت وعلى معدن الجبسايت وفي ظروف من التفاعل تتراوح بين pH 3 الى 10 وتركيزات مختلفة من الفوسفور وجدوا انه يمكن تمييز ثلاث مناطق امدصاص مختافة على خط الامدصاص.

ان الفوسفور في محلول التربة عادة يكون قليلا جدا ولذلك فأن الترسيب الذي حصل في المنطقة الثالثة ربما يكون مهما فقط بالنسبة لمناطق التلامس بين الاسمدة الفوسفاتية المضافة والتربة الا ان هذة الصورة للامدصاص وهذا النوع من الدراسات رغم اهميتها فأنها تبقى بعيدة عن الصورة المعقدة الموجودة في التربة.

واوضح هذان الباحثان ان هذا الامدصاص يزداد بارتفاع درجة الحرارة. لذلك استنتجا ان الامدصاص في التراكيز الواطئة من الفوسفات (اقل من 0.0016 مولار) وخلال الثلاث ساعات الاولى يمكن ان يكون عملية امدصاص اعتيادية وابدال لايون الهيدروكسيل على السطح الغروي ولكن الفوسفات ستدخل في تفاعلات اخرى بمرور الزمن وفي التراكيز العالية. كما اوضحت العديد من الدراسات مثل الدراسة التي قام بها Davis1935 تحت ظروف التفاعل لتربة غير كلسية بان امدصاص الفوسفات يمكن تمثيله بمعادلة Fruendlich في الساعات الاولى من التفاعل ولكن بمرور الزمن يحصل امتصاص للفوسفات من قبل الاجسام الصلبة وان هذا الامتصاص يحصل ببطء وغير عكسي وان سرعة التنافذ للفوسفات ضمن الجزء الصلب والمحلول تتحكم بسرعة هذا التفاعل.

ان حصول الامتزاز ليس هو نهاية المطاف بل انه يسهم بجزء من هذا التثبيت حيث ان هذا الامتزاز يكون على السطوح الطينية او على سطوح كاربونات الكالسيوم في الترب الكلسية وهذا بدوره يعتمد على المساحة السطحية النوعية لهذه السطوح، فعند اضافة فوسفات الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ الى تربة كلسية او قلوية فان التغيرات التي يمكن ان تحصل تباعا هي كما يلي:

1- تكون فوسفات الكالسيوم القليلة الذوبان $CaHPO_4$
2- الامتزاز على سطوح اللايم وسطوح الاطيان.

3- الترسيب بشكل معقد من فوسفات الكالسيوم مثل الهيدروكسي ابتايت $Ca_{10}(PO_4)_6 (OH)_2$ اما في الترب الحامضية فيحصل الامتزاز ايضا والترسيب بشكل فوسفات الالمنيوم.

2- الابدال التناظري Isomorphus replacement

المقصود بالابدال التناظري هي التفاعلات التي تؤدي الى حصول ابدال ضمن التركيب البلوري للمعادن الطينية وهذا الابدال يمكن ان يمر بثلاثة مراحل وهي:

1- استمرار عملية الامتزاز على السطوح الداخلية للبلورات.

2- تحول الامتزاز الى عملية ابدال ضمن التركيب البلوري حيث يحل ايون الفوسفات محل مجموعة الهيدروكسيل في وحدة الالومينا اوكتاهيدر او محل ايون السليكا في وحدة السليكا تترهيدرا.

3- ويتبع ذلك تحلل للبلورة الجديدة المتكونة نتيجة الابدال اعلاه يتبعها حصول تبلور جديد لتكوين مركبات جديدة يدخل الفوسفور ضمنها.

3- تفاعلات التحلل المزدوج double decomposition reactions

استنادا الى حاصل الاذابة فان عدة تفاعلات للفوسفات يمكن اعتبارها كوسيلة لتثبيت او ترسيب الفوسفات الذائبة في محلول التربة. وهذه التفاعلات بصورة عامه تقسم الى مجموعتين رئيستين احداهما تتضمن تفاعلات ايون الفوسفات مع الحديد والالمنيوم وهو التفاعل السائد في الترب الحامضية والثانية تتضمن تفاعلات ايون الفوسفات مع الكالسيوم وهو التفاعل السائد في الترب القاعدية والترب الكلسية بالذات.

دور المعادن الطينية في تثبيت الفوسفور

اثبتت العديد من الدراسات ان للمعادن الطينية دور في تثبيت الفوسفور. ان سرعة التثبيت من قبل معادن الطين يزداد بارتفاع درجة الحرارة وزيادة تركيز الفوسفور وقلة او انخفاض تفاعل التربة وان مقدار الفوسفور المثبت يقل حسب الترتيب التالي:

الالايت > الكاؤلينايت > المونتمورلينايت.

تثبيت البوتاسيوم Potassium fixation

يقصد بتثبيت البوتاسيوم تحول البوتاسيوم من الحالة الذائبة والمتبادلة الى الحالة التي تجعله غير قابل للبدال بايون الملح المتعادل. وقد لوحظ منذ زمن غير قليل انه عند اضافة الاسمدة البوتاسية الى التربة فان قسما من البوتاسيوم يحصل له تغيير يجعله غير جاهز للنبات. ويعتبر Volk 1933 اول باحث درس هذا الموضوع وأوضح الأمور التالية:

1- تجفيف التربة يعتبر عاملا مهما في هذا التفاعل .

2- ان حجم دقائق الطين ونوع الطين في التربة لها اثر كبير.

3- ان معاملة التربة بحامض الهيدروكلوريك المركز قلل من قابلية التربة على تثبيت البوتاسيوم في حين ان معاملتها بهيدروكسيل الكالسيوم زادت من هذه القابلية.

4- ان سرعة التثبيت تقل بمرور الزمن عند اضافة الاسمدة البوتاسية ومنذ ذلك الحين توالت البحوث العديدة حول تثبيت البوتاسيوم والعوامل المؤثرة فيه.

وقد تبين ان البوتاسيوم في التربة يوجد على عدة حالات تتراوح من الحالة الذائبة او الطليقة في محلول التربة الى البوتاسيوم الداخل ضمن التركيب البلوري للمعادن بحيث لايمكن ان يخرج منها الا بتحطيم بناء هذه المعادن. وبالرغم من عدم وجود حدود فاصلة بين هذه الصور او الحالات فان البوتاسيوم في التربة يمكن ان يقسم الى ثلاث حالات او صور هي:-

البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم القابل للابدال والبوتاسيوم غير قابل للابدال. ان كمية البوتاسيوم في كل صورة من هذه الصور تتاثر بعوامل عديدة مثل طبيعة المادة الغروية. كمية البوتاسيوم المضافة الى التربة بشكل اسمدة او مع مياه الامطار، وادارة التربة.

فالبوتاسيوم الذائب يعرف بأنه كمية البوتاسيوم التي توجد في محلول التربة في وقت معين والتي تكون حرة او طليقة اي طاقة مسكها من قبل اجزاء التربة الصلبة تعتبر صفرا. وهذة الكمية تكون عادة قليلة لانها عرضة للامتصاص او الغسل. وهذة الكمية من البوتاسيوم تكون في العادة غير كافية لاحتياجات النبات من البوتاسيوم حتى في الترب التي تعتبر خصبة. وتكون هذة الكمية في حالة اتزان مع البوتاسيوم القابل للابدال والممدص على سطوح الغرويات.

اما البوتاسيوم القابل للابدال فأنه عادة يعرف بأنه كمية البوتاسيوم التي يمكن استخلاصها بمحلول عياري من خلات الامونيوم المتعادل او اي محلول ملحي متعادل اخر(لاحظ Reitamier ، 1951). اوضح عدد من الباحثين ان هذا الجزء من البوتاسيوم يصعب تحديدة بالضبط في كثير من الترب نظرا لصعوبة تحديد حد فاصل بين المتبادل والذائب من جهة. وكذلك لاستمرار خروج البوتاسيوم من الاجزاء المعدنية نتيجة انحلال بعض البوتاسيوم ضمن المعادن في المحاليل المستعملة للاستخلاص. ويعتبر هذا الجزء ميسورا للنبات وكميته تعتبر دليلا على مدى توفير البوتاسيوم في كثير من الترب.

اما البوتاسيوم غير المتبادل وغير القابل للابدال فهو البوتاسيوم الذي لايمكن استخلاصة بمحلول الملح المتعادل. ويشمل البوتاسيوم الموجود ضمن التركيب البلوري لبعض المعادن في التربة مثل المايكا والارتوكليز والفلدسبار بالاضافة الى البوتاسيوم المحتجز ضمن المعادن الطينية كالايلايت والاسمكتايت. وهذا الجزء من البوتاسيوم يشكل معظم البوتاسيوم الموجود في التربة. ونظرا لان اي تغيير في احد حالات البوتاسيوم يتبعة تغير في الصورة الاخرى فأنه ساد الاعتقاد ان هناك حالة من الاتزان بين هذة الصور او الحالات اي انه:

بوتاسيوم غير قابل للابدال ⇆ بوتاسيوم متبادل ⇆ بوتاسيوم ذائب

⇆ويشير طول السهم في المعادلة اعلاه الى سرعة التفاعل. فبينما تكون عملية التبادل بين الذائب والمتبادل سريعة جدا تكون بطيئة جدا بين المتبادل والمثبت او الغير قابل للابدال.

العوامل المؤثرة في تثبيت وخروج البوتاسيوم المثبت

1- نوع الايونات المكملة
2- مناوبة الترطيب والتجفيف
3- تاثير النبات
4- نوع المعادن السائدة

تثبيت الامونيوم ammonium fixation

يشابه تثبيت ايون الامونيوم (NH_4^{+1}) ايون البوتاسيوم في كثير من الوجوه، حيث أنه حسب نظرية page and Baver فأن حجم ايون الامونيوم قريب جدا من ايون البوتاسيوم على ان الدراسات حول تثبيت الامونيا اقل بكثير من الدراسات على تثبيت البوتاسيوم. وهذا ربما يرجع الى كون النايتروجين في التربة يوجد بحالات متعددة بحالتيه العضوية وغير العضوية، وان الاحياء الدقيقة تحول الامونيا في عملية النترجة الى ايون النترات الذائبة. على ان تثبيت الامونيا والكمية المتبقية منها تكون في بعض الترب كبيرة وان هذة الامونيا لا تكون جاهزة لمهامجة الاحياء التي تقوم بعملية النترجة. ان التربة الجافة تثبت مقدار من الامونيوم يتراوح بين 6- 1000 جزء بالمليون نايتروجين وتختلف قابلية التثبيت حسب نوع المعدن الطيني السائد حيث يعتبر معدني الالايت والفيرميكولايت اكثر المعادن اثرا في تثبيت الامونيا في حالتي الترطيب والجفاف في حين ان التثبيت بواسطة معدن المونتمورلونايت يعتمد على حالته الجافة وقد اقترح Brown and Bartholomew,1962 تفسيرا لتثبيت الامونيا يتضمن -أ- تفاعل غاز الامونيا مع الهيدروجين لتكوين ايون الامونيوم ($NH4^+$) .ب- يتبع ذلك تفاعل ايون الامونيوم مع الهيدروكسيل المرتبط بالبلورة في النهايات البلورية المرتبطة بالسليكون وليس مع الهيدروكسيل المرتبطة بطبقة الالومنيا. ج- يتبع ذلك تفاعلة مع الايونات المتبادلة مثل ايون ($Al(H_2O)_6^{3+}$) لتكوين هيدروكسيد الالومنيوم $Al(OH)_3$ والماء. ومع ايون $Ca(H_2O)_6^{+3}$ لتكوين هيدروكسيد الكالسيوم والماء. ان تثبيت الامونيوم ظاهرة معروفة وخاصة في طبقات التربة تحت السطحية الا ان كثيرا من النواحي المتعلقة بكيفية حصول عملية التثبيت على المعادن المختلفة لا زالت غير معروفة بالضبط. ان معرفة كيفية تثبيت الامونيا له اهمية بالنسبة لاستعمالات الاسمدة النايتروجينة المختلفة سواء السائلة منها او الغازية او الصلبة.

تثبيت الايونات الاخرى

ان مصطلح التثبيت احيانا يستعمل ليشتمل كل التحولات للعناصر من الحالة الجاهزة او الميسورة للامتصاص الى الحالة غير الجاهزة للامتصاص وبذلك فأنها تشتمل تحولات العنصر من الحالة غير العضوية الى الحالة العضوية ايضا كالذي يحصل لعناصر النايتروجين، الفوسفور والكبريت والتي تتوقف على نشاط الاحياء في التربة. ان العناصر الدقيقة كالبورون والحديد والزنك والمنغنيز والنحاس تتغير حالة ذوبانها وبالتالي جاهزيتها في التربة حسب ظروف التربة المختلفة. فبالرغم من ان احتياجات النباتات لهذة العناصر قليل جدا الا ان بعض الترب تعاني فيها النباتات من نقص لواحد او اكثر من هذة العناصر رغم توفرها من الناحية الكمية. ومن اهم العوامل التي تؤثر على حالة هذة العناصر هي تفاعل التربة حيث ان البعض منها ثقل جاهزيته في الظروف الحامضة كالموليبريوم وتزداد بارتفاع الرقم الهيدروجين فيما البعض الاخر تزداد جاهزيته في الظروف الحامضية ويقل في الظروف القاعدية كالزنك والمنغنيز.