

احياء الرايزوسفير وجاهزية الفسفور للنباتات

ندى حميد مجيد

نورالدين شوقي علي

استاذ مساعد

استاذ

كلية الزراعة-جامعة بغداد – قسم التربة والموارد المائية

المستخلص

الفسفور (P) احد مغذيات النبات الرئيسية التي تؤثر بشكل مباشر او غير مباشر بالعمليات الحيوية. فهو المكون الرئيس لأيض الطاقة والبناء الحيوي للاحماض النووية والاعشبية. يعد نقص الفسفور واحد من اهم المحددات الرئيسية لإنتاج المحاصيل لاسيما في الانظمة الزراعية محدودة المدخلات وإن حوالي 80% من الفسفور المعدني المضاف يحتجز بالتربة. تعد الجذور وسط إنتقالي للفسفور المتحرك بين نظامين حيويين التربة والنبات. وتعد العمليات الحيوية التي تؤديها الاحياء المجهرية في التربة مهمة في توزيع الفسفور بين اجزائه العضوية والمعدنية المختلفة ومن ثم في جاهزيته للإمتصاص من جذور النبات، وهذه العمليات الحيوية تتعاضد في منطقة الرايزوسفير التي يتوافر فيها الكاربون الجاهز. ولذا سيتم التركيز في هذه المراجعة القصيرة على مساهمة الاحياء المجهرية المختلفة المذبية للفوسفات وفطريات المايكورايزا في منطقة الرايزوسفير في تغذية النبات بالفسفور من خلال دورها في زيادة جاهزيته في التربة والعوامل والممارسات الادارية المطلوبة لزيادة هذه الجاهزية.

كلمات مفتاحية: الرايزوسفير، الأحياء المذبية للفوسفات، المايكورايزا، جاهزية الفسفور.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences – 47(2): 635-645, 2016

Ali & Majeed

RHIZOSPHERE MICROORGANISMS AND PHOSPHORUS AVAILABILITY FOR PLANTS

N. S. Ali

N. H. Majeed

Prof .

Assist. Prof.

shawqiali@yahoo.com

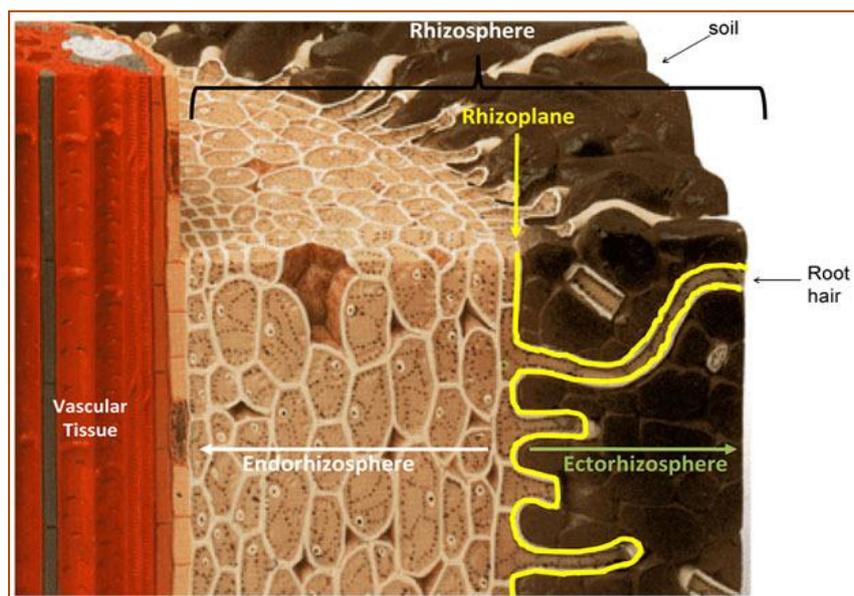
Dept. Soil Sciences & Water Resources, College of Agriculture, University of Baghdad

ABSTRACT

Phosphorus (P) is one of the major plant nutrients that directly or indirectly affect all biological processes. It is a key component of energy metabolism, and biosynthesis of nucleic acids and membranes. Phosphorus deficiency is considered to be one of the major limitations for crop production particularly in low-input agriculture systems around the world and nearly 80% of applied mineral P may be retained in the soil. Roots provide an interface for P moving from one living system—the soil—into another living system—the plant. Microbial processes in soil are important for the distribution of P between various inorganic and organic P fractions and subsequently for the potential availability of phosphate for plant absorption. These processes are predominantly manifest within the rhizosphere where readily-available C substrates are most abundant. So this review, focus on the contribution of soil microorganisms on the plant P nutrition through their capacity to increase the availability of soil P and its subsequent uptake by plants.

Key Words: P –availability, Rhizosphere, PSM, Mycorrhiza

rhizodeposition والبروتينات والسكريات المتحررة من الجذور . وتكثر في هذه المنطقة البروتوزوا والنيماتودا التي تتغذى على البكتريا، ولذلك معظم المغذيات ودورات العناصر وتنشيط مسببات المرضية للنباتات تحدث في المنطقة الملاصقة للجذور (25). والشكل 1 الاتي يبين رسم تخطيطي للجذر ومنطقة الرايزوسفير .



شكل 1 رسم تخطيطي لجذر يبين تركيب الرايزوسفير (50)

اما بشكل مباشر من خلال إذابة الفسفور وتسمى الاحياء المذيبة للفوسفات Phosphate solubilizing Microorganisms (PSM) او من خلال القدرة على زيادة المساحة السطحية للإمتصاص وهو الدور التي تقوم به المايكورايزا (او الفطر جذر) (38 و 45) و المايكورايزا من نوع الـ Biotrophic التي ينمو مايسيلها خارج حدود منطقة الرايزوسفير مكونةً محيط جذري فطري *mycorrhizosphere* (33)، او بشكل غير مباشر من خلال البكتريا المنظمة او المحفزة لنمو النباتات *growth promoting rizobacteria* (PGPR) والتي تؤثر في نمو الجذور والشعيرات الجذرية وإفراز منظمات النمو والمركبات الخالبة للحديد (السايدروفورات sidrophores) ومن ثم تساهم في تجهيز الفسفور للنبات. ولذا سيتم التطرق الى مساهمة احياء التربة المجهريه في تغذية النبات من خلال قابليتها في زيادة جاهزية وتيسر فوسفور التربة وإمتصاصه من جذور النبات.

الرايزوسفير او منطقة المحيط الجذري Rhizosphere: الرايزوسفير هي منطقة التربة المتأثرة بإفرازات الجذور وحياء التربة المجهرية الموجودة فيها . وتعرف التربة التي لا تكون جزءاً من الرايزوسفير بالتربة غيرالرايزوسفيرية *Non-Rhizosphere soil* او *Bulk Soil*. تحتوي منطقة الرايزوسفير على انواع مختلفة من البكتريا التي تتغذى على خلايا النبات المنسلخة والتي يطلق عليها

الاحياء المجهريه وتحولات الفسفور وجاهزيته:

تؤدي الأحياء المجهريه دوراً مهماً في تحولات الفسفور ضمن الانظمة البيئية المختلفة. إذ ان العمليات الحيوية في التربة مهمة في توزيع الفسفور بين اجزائه المعدنية والعضوية المختلفة ومن ثم في كمية الفسفور الجاهز للإمتصاص من جذور النباتات لاسيما الاحياء المجهريه التي تتداخل مع جذور النباتات والعمليات المرتبطة بذلك ضمن الرايزوسفير (المحيط الجذري) وإن الإهتمام في إدارة الاحياء المجهريه ذات العلاقة في امتصاص الفسفور من جذور النباتات في منطقة الرايزوسفير له علاقة بالإنتاج الاقتصادي والمستدام والأمن بيئياً (30). ولذا هناك إتجاهات ودراسات حول التقليل من التسميد المعدني(الكيميائي) والاستعاضة عنه بالتسميد العضوي او/الحيوي ولذا يلاحظ اهمية احياء الرايزوسفير في توفير الفسفور في الترب واطئة المحتوى من الفسفور الجاهز وتنظيم الفسفور في الترب عالية الجاهزية من الفسفور ومن ثم تقليل الفقدان. تؤثر الاحياء المجهريه في جاهزية الفسفور

الفسفور او الترب ذات القابلية العالية على حجزه (الإمتزاز والترسيب) تستطيع هذه الاحياء استعمال صور الفسفور واطئة الجاهزية، وهذا يعني ان الاحياء المجهرية ذات كفاءة عالية في الحصول على متطلباتها من الفسفور من مصادر متعددة وعملية التثبيت تعتمد على مدى توافر الكاربون. يشير عدد من الباحثين الى ان فسفور الكتلة الحيوية (الفسفور الاحيائي) يمكن اعتباره مركز دورة الفسفور في التربة وله دوراً مهماً في تسهيل تحولات الفسفور المعدني والعضوي من صورة الى أخرى (37). إن طبيعة الفسفور الاحيائي القابلة للتغير Labile هي التي تزيد من اهميته وتجعله جاهزاً للإمتصاص من جذور النباتات. وعلى الرغم من الدراسات المستفيضة حوله الا ان دراسة تحولاته في تربة الرايزوسفير لم يأخذ حقه من البحث والتقصي لصعوبة دراسة منطقة الرايزوسفير بمعزل عن التربة ككل الا في حالة توافر بعض الاجهزة الخاصة مثل جهاز الرايزوترون (6). ومع ان الفسفور الموجود في اجسام الاحياء المجهرية يكون بشكل رئيس بصورة الفسفور العضوي (احماض نووية وفوسفوليبيدات وفوسفات احادي الايستر او فوسفات متعددة) الا انه لوحظ ان هذا الفسفور يمكن ان يتحرر وتسفيد منه النباتات ولكن سرعة التحرر تعتمد على تغايرات زمانية ومكانية (زمانية) وعلى طبيعة التربة والتفاعلات الكيموفيزيائية المختلفة، هذا فضلاً عن التغيرات التي تحدث في اعداد وانواع الاحياء المجهرية في التربة ومن ثم التأثير في الكميات المثبتة في اجسامها والكميات المتحررة اعتماداً على نسب الكاربون الى الفسفور المهمة في عمليات التثبيت والتحرر. هذا فضلاً عن تداخلات الاحياء الأخرى الموجودة في التربة من نيماتودا وحيوانات اخرى في عمليات تمعدن وتحرر الفسفور الاحيائي على الرغم من ان حجم هذه الاحياء الكبيرة لا يتجاوز 1% من حجم احياء الرايزوسفير الا ان دورها في تجزئة وإعادة توزيع وتحرر الفسفور الجاهز للنبات يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار (30)

تحولات الفسفور الموجود في الكتلة الاحيائية: ان التحولات التي تجري في تربة الرايزوسفير تتأثر بأعداد الاحياء المجهرية والتي تكون اعدادها اكثر 5 - 20 مرة من اعدادها في التربة البعيدة وهذا سيؤثر في كاربون الاحياء المجهرية ومن ثم زمن الجيل سيتأثر ويكون اقصر في الرايزوسفير وهذا

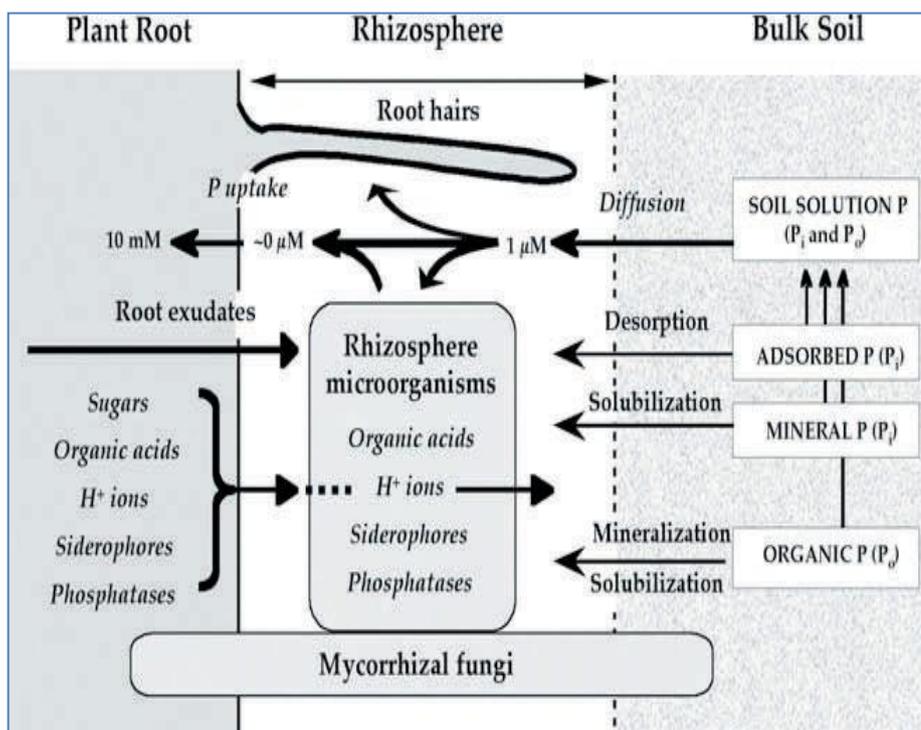
فسفور الاحياء المجهرية جزءاً من دورة الفسفور في التربة تعد الاحياء المجهرية مكون مكملاً لدورة الفسفور في التربة وتحتوي كمية مهمة من الفسفور المثبت في اجسامها وهو جزء مهم من الفسفور القابل للجاهزية potentially available (صور فسفور التربة تشمل الفسفور الذائب بالمحلول والفسفور القابل للتجهيز او القابل للتغير labile P والفسفور صعب الجاهزية او غير قابل للتغير Non-labile P (7). هذا فضلاً عن دور الاحياء المجهرية في تحلل الفسفور العضوي من خلال عملية المعدنة وجعله جاهزاً للنبات. هذه العمليات تكون اكثر اهمية في منطقة الرايزوسفير من خلال القابلية على تمثيل وتثبيت الفسفور في اجسامها فهي في البداية تكون منافسة للنبات ولكنها تعمل على زيادة الفسفور الجاهز للنبات بعد تحريرها له في منطقة الرايزوسفير. ومع هذا الدور المهم الا ان دور الاحياء في منطقة الرايزوسفير لم يأخذ الاهتمام الكافي.

محتويات الفسفور في الكتلة الحيوية في التربة

الكتلة: الكتلة الحيوية المايكروبيية Microbial Biomass في التربة تعد المكون الحي لمادة التربة العضوية وتكون بشكل رئيس من البكتريا والفطريات فضلاً عن الطحالب والبروتوزوا والنيماتودا. والكتلة الحيوية تشكل ما نسبته 2-5% من كاربون التربة العضوي الكلي، والتي يشكل للطبقة السطحية من التربة من 0.2 - 1.5 غم C كغم⁻¹ تربة او ما يعادل 0.02-0.15 % (23). ومع ان كمية المساهمة هذه قليلة الا ان الكتلة الحيوية الحية متحركة ومسؤولة عن تحلل المادة العضوية ومعدنة مغذيات التربة. إن حجم خزان الكتلة الحيوية في التربة يعتمد على مدخلات الكاربون وفعاليتها التي تنظم بوجود السكريات القابلة للتمثيل ودرجة حرارة التربة وجاهزية الماء، ولذا تعتمد على الموسم الزراعي وتتأثر بعمليات إدارة التربة والعمليات الحقلية. إن محتوى الفسفور في الكتلة الحيوية يتراوح بين 5-100 ملغم P كغم⁻¹ تربة (27). المحتويات العالية للفسفور الاحيائي يلاحظ في الترب غير المثارة (غير المحروثة) المسمدة بالفسفور لاسيما ترب المراعي الدائمة او الترب الزراعية التي تسمد بالتسميد العضوي بإستمرار مثل التسميد بدمن مخلفات المزرعة (Farm Yard Manure). ومع ان معظم الاحياء تستطيع اخذ متطلباتها من الفسفور الجاهز الا انه تحت ظروف نقص

النبات للفسفور بعدد من الأليات من اهمها إذابة الفسفور المعدني ومعدنة الفسفور العضوي وزيادة نمو الجذور (الشكل 2). هذه العمليات مجتمعة يمكن ان تقوم بها مجموعة من الاحياء المجهرية التي يطلق عليها بالاحياء المجهرية غير التعايشية المحفزة لإمتصاص الفوسفات، ومثال على ذلك عدد من البكتريا والفطريات واللاكتينومايسيت التي ثبت دورها في إذابة الفسفور ولكن بشكل رئيس تحت الظروف المختبرية (49). كما ان البكتريا والفطريات التي تنتج الفوسفاتيز لتحريير الفسفور العضوي تمت الاشارة اليها في Tarafdar وآخرون،(47). وأكدت دراسة حديثة على اهمية الكبريت الزراعي في نشاط إنزيم الفوسفاتيز وجاهزية الفسفور في تربة كلسية متأثرة بالاملاح في محافظة البصرة-العراق(15) .

سيؤثر في زيادة الفسفور الاحيائي والتحولت للفسفور في منطقة الرايزوسفير. من الناحية الثانية فإن التغيرات الزمكانية لتربة الرايزوسفير في اعداد الاحياء وانواعها والمستعمرات الموجودة قرب الجذور والتنوع النباتي وإختلاف حجم وكثافة الجذور ضمن الرايزوسفير كلها عوامل تؤثر في تحولت الفسفور فضلاً عن دور الجذور في سحب الفسفور من محلول التربة والذي سيؤثر في إتران الفسفور في التربة (30). الفسفور العضوي الذي مصدره من الاحياء او الفسفور العضوي المضاف او الموجود اصلاً ضمن مادة التربة العضوية Soil Organic Matter (SOM) يمكن ان يكون مصدراً مهماً ضمن الرايزوسفير، الا ان هذا الفسفور يحتاج الى تحلل مائي بوجود إنزيم الفوسفاتيز. لذا فإن الاحياء المجهرية حرة المعيشة يمكن ان تشجع من امتصاص



الشكل 2 مخطط للعمليات التي تحدث في الرايزوسفير والمنطقة البعيدة وتؤثر في جاهزية فسفور التربة

الاحياء المجهرية المذيبة للفوسفات Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM):

وجود الاحياء المجهرية المذيبة للفوسفات، ولكن هذه الطريقة محددة بالاحياء التي تنمو في هذا الوسط ، الا انه على الرغم من اهمية هذه الطريقة في العزل الا ان حساسيتها محدودة وتتأثر بنوع المغذيات للوسط (49). وتعد بكتريا الزوائف (السيديموناس) *Pseudomonas spp.* والباسلس *Bacillus*

لقد تم عزل الاحياء المذيبة للفسفور المعدني بشكل روتيني بإستعمال تقنية التخفيف والنشر في الأطباق -spread plating dilutions من التربة والرايزوسفير او الرايزوبلين على وسط الآكار المغذي الذي يحوي فوسفات غير ذائبة وتكون المنطقة الشفافة حول المستعمرات النامية دلالة على

العضوية المفترزة من هذه الاحياء بخفض pH الرايزوسفير او تعمل على خلب الكالسيوم والالمنيوم وتحرر الفسفور المرتبط بهم او تنافس الفسفور على مواقع الامتزاز بالتربة وهذه كلها ستؤدي الى زيادة الفسفور الجاهز للإمتصاص من جذور النباتات.

-تعمل الاحياء المذيبة للفوسفات على معدنة الفسفور العضوي بالفوسفاتيز الحامضي وتحوله الى فسفور جاهز.

-تشجع نمو النبات من خلال زيادة امتصاص المغذيات وإنتاج الفايثوهرمونات (إنتاج الاوكسينات IAA و ABA وحامض الجبرلين والسايوتوكاينينات) هذا فضلاً عن إفراز المركبات الدبالية والفينولية. ولذا تعد البكتريا المذيبة للفوسفات ذات طاقة عالية كسماد حيوي لاسيما في الترب واطئة المحتوى من الفسفور. فضلاً عن قيامها بتقليل الامراض والتأثير الضار للحشرات ومقاومة الجفاف والاجهادات المختلفة (17و43و49). يزداد على ذلك ان بكتريا ال-*Enterobacter sp.* زادت من الكفاءة الحقلية للصحرا الفوسفاتي في تجارب البيوت الزجاجية و الحقل عند إضافة الاحياء المجهرية مع المخلفات العضوية(20). إن مدى فعالية الاحماض العضوية في إذابة الفوسفات تعتمد على عدد من العوامل كدرجة تفاعل التربة (pH) ومعادن التربة وتختلف زمنياً ومكانياً ضمن الرايزوسفير. كما إن مصدر السماد النتروجيني يؤثر في نمو الاحياء المجهرية وان مصدر الامونيوم للنتروجين NH_4^+-N في الوسط يؤدي الى كمية اكبر من الفسفور المذاب بالقياس الى مصدر النترات ($NO_3^- -N$) (49). أن احياء الرايزوسفير يمكن ان تشجع نمو الشعيرات الجذرية او تؤثر في تحرير البروتونات ولكن الالم من هذا كله هو صعوبة الفصل بين دور الاحياء والنبات في منطقة الرايزوسفير ولايزال الموضوع يحتاج الى مزيد من الدراسة .

ميكانيكية الإذابة

تشجع البكتريا المذيبة للفوسفات نمو النبات من خلال إنتاج انزيم ACC- deaminase لتقليل مستوى الاثلين في الجذور ومن ثم زيادة طول الجذور ونموها وتشجع التثبيت الحيوي للنتروجين الجوي في النباتات وإنتاج المركبات الخالبة للحديد الاحيائية (هناك سايدروفورات تنتج من النبات تسمى phytochdrophores) وبعض الفيتامينات(54 و55)

spp. الاكثر شيوعاً في إذابة الفسفور المعدني وفطر الاسبرجلس *Aspergillus* والبنيسيليم *Penicillium* هما اكثر انواع الفطريات المذيبة للفوسفات التي تم عزلها (43). هناك تقارير تشير الى قدرة الاكتينومايسيت على إذابة كميات معتبرة من الفسفور (46). وهناك تجارب حديثة ركزت على بكتريا الرايزوبيا التي تتعايش مع محاصيل البقول والتي تجهز كميات من النتروجين من خلال التثبيت الحيوي له فضلاً عن إذابة الفسفور(38). توجد الاحياء المذيبة للفوسفات في الرايزوسفير والرايزوبلين وتختلف باختلاف المحاصيل لإختلاف المواد المفترزة من الجذور و الوقت التي تؤخذ به العينة للفحص وهذا يجعل المقارنة بين نتائج الدراسات المختلفة ليس سهلاً، كما ان اعداد البكتريا القادرة على إذابة الفسفور هي أضعاف الفطريات مع ان الفطريات تعد الأكفأ بالإذابة. وتتوافر حالياً عدد من الطرائق التي يمكن من خلالها اجراء هكذا اختبارات مثل استعمال fluorescent probes وإستعمال ال- flow cytometry وتحليل ظروف الرايزوسفير بإستعمال ادلة وأجهزة الريدوكس(الاكسدة والاختزال-مقاييس الفولتية) (25).

إذابة الفسفور المعدني في الرايزوسفير:

إن تأثيرات إفرازات جذور النبات والاحياء المجهرية بشكل عام وفطريات المايكورايزا بشكل خاص تتعكس على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة مما يؤثر في تحرر الفسفور من مصادره العضوية والمعدنية. لقد وجد ان النبات يستجيب لنقص الفسفور وذلك بطرح الاحماض العضوية ويزيد من تكوين الشعيرات الجذرية ويحدث تغيرات مورفولوجية أخرى او من خلال تحرير البروتونات الى الرايزوسفير. كما إن إفرازات الجذور يمكن ان تؤثر في جاهزية الفسفور من خلال تغيير ظروف محلول التربة وتغيير خصائص السطوح لدقائق التربة وتنافس مع ايونات الفوسفات في مواقع الامتصاص ومن خلال التعقيد مع الايونات الموجبة (الخب) المرتبطة مع الفوسفات(39). إن قابلية البكتريا المذيبة للفوسفات PSB في تحويل الفسفور غير الذائب الى فسفور ذائب تعد صفة مهمة في الزراعة المستدامة لزيادة إنتاجية المحاصيل.

-وتقوم البكتريا المذيبة للفوسفات بزيادة ذوبانية الفسفور وتحفيز نمو وإنتاجية النبات من خلال: تقوم الاحماض

والفطر(45). إذ ان الفطر يحصل على المواد الأساسية الكربونية من النبات والتي تستلم المغذيات بالمقابل ولاسيما الفسفور بوساطة الفطر. يمكن تقسيم المايكورايزا الى مجموعات تشمل المايكورايزا الخارجية (الاكتومايكورايزا Ectomycorrhizas) المهمة إقتصادياً (40) والمايكورايزا الشجرية Arbuscular mycorrhizas (AM). أن المايكورايزا الخارجية تصيب بشكلٍ عام النباتات الخشبية كاشجار الغابات المهمة في شمال وجنوب خط الاستواء وهذه الفطريات تغلف الجذور بطبقة من انسجة الفطريات التي من خلالها تنمو الهيافات في الداخل بين بشرة وقشرة الجذر بشكل شبكة وخارجياً مكونة استنطالة للجذور (الميسليم في التربة)، وهذا الميسليم يؤسس منطقة تداخل في التربة مناسبة للإمتصاص النشط للمغذيات المعدنية ومن ضمنها الفسفور (44).

آلية عمل المايكورايزا (AM) وبيولوجيتها

إن هيافات هذه الفطريات تستعمر طبقات خلايا البشرة والقشرة للنبات العائل تلتصق على سطح الجذر (الشكل 4) ، كما ان هناك هيافات تدخل بين الجذور وداخل الجذور وهذه تتأثر بالكربون الذي يمتص مباشرةً من ابوبلاست النبات plant apoplast (19). دور المايكورايزا في تجهيز المغذيات ولاسيما الفسفور الى النباتات يرتبط مع كثافة الميسليم التي يوفر اوجه تداخل او طبقة متداخلة للإمتصاص ومنطقة امتصاص سريعة نحو الجذور (45). وتعمل خيوط الميسليا بشكل مشابه لعمل الشعيرات الجذرية وهذه الميسليا تتوسع بشكل كبير حول الجذور وتساهم في امتصاص الفسفور (شكل 4). أن اقطار الشعيرات الجذرية هي بحدود 5-20 مايكرومتر (52) وهي نسبياً اعلى من اقطار الهيافات 3-7 مايكرومتر والهيافات تستطيع الامتداد على الاقل 100 مرة اكثر، كما ان الشعيرات الجذرية عادةً غير متشعبة ومنتظمة ضمن النوع النباتي المعين بينما الميسليم متفرعة ومتميزة في شكلها (25). الهيافات والجذور تستطيع إمتصاص الفسفور من محلول التربة مع إمكانية بعض انواع المايكورايزا الاستفادة من الفسفور غير الذائب من مصادره مثل الصخر الفوسفاتي (22). أن دور ال-AM في ذوبانية الصخر الفوسفاتي وزيادة جاهزية الفسفور يكون اما بشكل مباشر او من خلال زيادة اسطح التماس بين الجذور

ومن الامثلة على البكتريا المذيبة للفوسفات بكتريا الزوائف *Pseudomonas spp* والتي تعد مذيبة للفوسفات وعامل مكافحة حيوية في الوقت نفسه. وهذه البكتريا تنمو بسرعة وتستفيد من إفرازات الجذور وتستعمر الجذر وتتضاعف بسرعة في منطقة الرايزوسفير وتنتج المضادات الحيوية والسايدروفورات وهي متكيفة للظروف الصعبة والاجهادات المختلفة. اما بكتريا الـ *Bacillus megaterium* فإن لها القدرة على إذابة الفسفور وإنتاج اندول حامض الخليك IAA والسايدروفورات ونواتج الايض المضادة للفطريات وتقلل شدة الامراض من خلال تثبيط نمو المسببات المرضية. ولذا وبشكلٍ عام تستعمل البكتريا المذيبة للفوسفات في مكافحة المتكاملة. وأشار Yousefi و Barzegar (54) الى ان ألتلقيح بـ *Azotobacter chroococcum* و *Pseudomonas fluorescens* بشكل منفرد او مجتمع زاد من معايير نمو و انتاجية محصول الحنطة وقلل بحدود 25-50% من السماد الكيميائي.

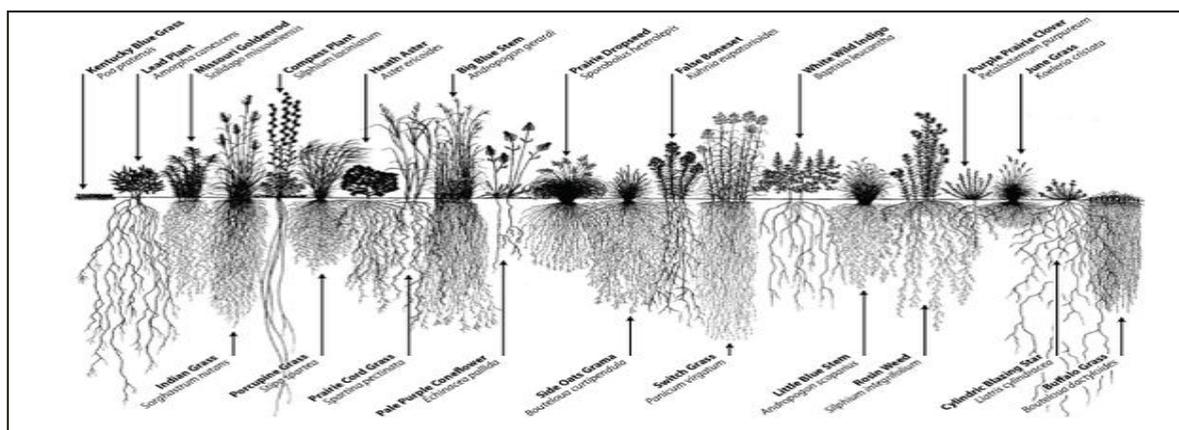
الاحياء المجهرية المسؤولة عن معدنة الفسفور العضوي
تتم معدنة الفسفور العضوي غالباً بوساطة احياء التربة المجهرية ولقد تم عزل الاحياء التي تقوم بهذه العملية، وأن عملية المعدنة تتطلب انزيم الفوسفاتيز الذي تقوم بإنتاجه عدد من البكتريا والفطريات وهذا الانزيم لوحظ بان فعاليته تزداد في منطقة الرايزوسفير مما يؤدي الى زيادة الفسفور العضوي الذائب (15 و 22). ومع إنه ليس من السهولة عزل الفوسفاتيز الناتج من الاحياء عن التي تنتجها الجذور الا ان بعض الدراسات تشير الى ان فعالية الفوسفاتيز المنتج من الاحياء المجهرية تكون اكفاً (47). كما ان الاحياء المجهرية في الرايزوسفير يمكن ان تزيد من نمو الجذور او تحفز تطور الشعيرات الجذرية من خلال إنتاج الفايثوهرمونات والتي يمكن ان ينتج عنه زيادة في إمتصاص الفسفور من جذور تلك النباتات، كما ان الشعيرات الجذرية يمكن ان تسهم بحوالي 90% من الامتصاص الكلي للنظام الجذري في الترب واطنة الفسفور (25).

فطريات المايكورايزا – Mycorrhizal Fungi

المايكورايزا عبارة عن علاقة تعاونية تتكون بين اكثر من 90% من الانواع النباتية والفطريات من انواع مختلفة ويكون هناك تبادل منفعة وانتقال ثنائي الاتجاه بين النبات

بالتلقيح بالميكوريزا او التجهيز العالي بالفسفور من خلال التسميد الكيميائي (30). لقد تم تقسيم النباتات حسب إستجابتها للإستعمار من المايكوريزا الى النباتات المعتمدة بشكل عالٍ مثل البصل والمتوسطة الاعتماد مثل السيسبان وقليلة الاعتماد مثل الذرة الصفراء والطماطة. والفسفور من المغذيات التي يحتاج الى إدارة خاصة لزيادة جاهزيته بالتسميد المتوازن والإدارة الجيدة للمايكوريزا فضلاً عن تبني الزراعة الحافظة والدورة الزراعية السليمة وإستعمال تغطية التربة للمحافظة على رطوبة ودرجة حرارة التربة لتحقيق فضل النتائج (5). ولتشجيع المايكوريزا فإنه من المهم التسميد بالفسفور (اسمدة معدنية او عضوية) في الترب ذات المستوى الواطئ جداً من الفسفور ولكن الإستجابة تعتمد على نوع الاحياء المجهرية ونوع المحصول (16 و 48)، فضلاً عن كمية الكربون المتوفر للاحياء المجهرية. ولذا تكوين المستعمرات على الجذور يكون اعلى في الزراعة العضوية بالقياس الى الزراعة التقليدية بسبب توافر المغذيات، فضلاً عن تغلغل الهياقات بشكل افضل في التربة المسمدة عضوياً ومن ثم كفاءة اعلى في الامتصاص بشرط ان تكون مستويات النتروجين والضوء والpH غير محددة للنمو (34).

ودقائق الصخر الفوسفاتي والتأثير في إتزان الفسفور في منطقة الرايزوسفير (21 و 24 و 34). اما قدرة المايكوريزا في الاستفادة من الفسفور العضوي فإنه يمكن ان تتم من خلال افرازوفعالية الفوسفاتيز الحامضي الخلوي للميسليم (32). وهناك دراسات تشير الى ان الفسفور الممتص بالمايكوريزا بحدود 100 مرة اعلى من الجذور والسبب بشكل رئيس نتيجة المواقع الاكثر للإمتصاص بوحدة المساحة وامكانية الامتصاص من مواقع صعبة على الجذور. بشلٍ عان تؤثر المايكوريزا في كمية الفسفور الممتصة من جذور النبات كما ان نمو النبات يتأثر بنوع المايكوريزا (الميسليم وامتداداته والنبات المعيل ونوعه وصنفيه وهذه كلها تتحور بالبيئة المحيطة) (29 و 45 و 54)، ولذا تطوير ستراتيجمات ادراية مهمة تتضمن المايكوريزا تكون من الامور المهمة للحصول على اقصى كمية من الفسفور للنبات النامي (36). إن الإستجابة لتلقيح المحاصيل بالمايكوريزا يرتبط مع فعالية هذه الاحياء في امتصاص الفسفور من الترب ذات المحتوى الواطئ من الفسفور الجاهز وفي النباتات ذات الجذور الخشنة وقليلة الشعيرات الجذرية اذ يختلف حجم وإنتشار الجذور (معمارية الجذور) بإختلاف النباتات (شكل 3) والنقص في فسفور الجذور لمحصولٍ ما يمكن تعويضه



شكل 3 الاختلاف والتنوع في معمارية الانظمة الجذرية root system architecture في بعض النباتات

للفوسفات (*Agrobacterium* و *Pseudomonas.sp.*) او الفطريات حسنت من نمو النبات وإمتصاص الفسفور (*sp.*) اكثر من الاضافات المنفردة لكل منهما (18 و 54). إذ ان الميسليم الكثيف التي تنتجها المايكوريزا قادر على إمتصاص الفسفور التي تذيبه الاحياء المجهرية المذيبة ومن ثم يقلل الفسفور المتعرض للإمتزاز والترسيب وحتى للفقْدان

التأثير المتداخل للمايكوريزا AM والاحياء غير التعايشية المشجعة لإمتصاص الفسفور:

ان التداخل بين المايكوريزا والاحياء المجهرية غير التعايشية يمكن ان يؤدي الى زيادة استعمال النبات لمصادر الفسفور المختلفة المعدنية والعضوية ذات الجاهزية الواطئة. إذ إن الاضافة المشتركة للمايكوريزا مع الأحياء المذيبة

معتمد على المايكورايزا بعد محصول غير معتمد على المايكورايزا واستعمال الحراثة الدنيا قدر الامكان للحفاظ على المستعمرات (41). وفي المناطق التي تتوافر فيها الاسمدة المعدنية بشكل جيد من حيث الكمية والنوعية فإن استعمال المايكورايزا من عدمه يعتمد على نواحي اقتصادية وبيئية (31) وموضوع تأثير المايسليم الفطري في تحسين بناء التربة مهم ويجب ان يؤخذ بالاعتبار (25). ومن المهم ان تتم الدراسات تحت ظروف بيئية مختلفة لتناسب مختلف البيئات وهذا سيصب في النهاية في إنتاجية محاصيل عالية مستدامة وبضرب اقل على البيئة التي نعيش فيها وهناك بعض الدول مثل كندا التي تنتج لقاح معين لكل محصول (1). وبتحسين الفهم لعمليات تحريك الفسفور وإذابته فإن الفرص المستقبلية ستكون واعدة لاسيما مع التحسينات الوراثية للمحاصيل والاحياء (26).

واقع التسميد الحيوي الفوسفاتي في العراق

بسبب ظروف ترب العراق التي تقع ضمن مناخ المناطق الجافة وشبه الجافة ومحتوى الترب العالي من معادن الكربونات وميل درجة تفاعل التربة نحو القاعدية تعد الترب في العراق من بين الترب ذات القابلية العالية على الاحتفاظ وحجز الفسفور بصور غير جاهزة حيوياً او متيسرة بشكل مباشر للنبات (6 و 7 و 10) وهذا يتطلب التسميد المعدني او العضوي للإيفاء بمتطلبات المحاصيل من هذا العنصر المغذي الأساسي لنمو النبات ونوعية حاصله. ولذا إعتاد المزارع والمستثمر العراقي على إضافة الاسمدة الفوسفاتية وبكميات تعد عالية نسبياً لتوافر هذه الاسمدة في العقود الماضية لإمتلاك العراق لخزين كبير من الصخور الفوسفاتية ولوجود معمل لتصنيع الفوسفات في العراق فقد تنوعت مصادر الاسمدة الفوسفاتية (5). ومع هذا ولأسباب محلية واقليمية ولزيادة الاهتمام البيئي اتجه الباحثون نحو البحث في إمكانية التوجه نحو التسميد الحيوي ومدى نجاحه وجدواه الاقتصادية. كانت بدايات التسميد الحيوي في العراق مع التسميد الحيوي النتروجيني والدورات الزراعية المتضمنة للبقوليات من الممارسات المهمة في الزراعة العراقية (2). وبدأ الاهتمام بالتسميد الحيوي الفوسفاتي في ثمانينات القرن الماضي ولاسيما مع المايكورايزا ومن ثم مع الاحياء المذيبة للفوسفات ولمحاصيل مختلفة (4 و 12 و 13 و 14). وحققت

بالانجراف او التعرية. وهناك اكثر من إستراتيجية لزيادة الاستفاداة من دور الاحياء المجهرية في تشجيع النبات لإمتصاص الفسفور ومنها محاولة زيادة مساهمة الاحياء المجهرية الاصلية المفيدة في التربة ولاسيما في منطقة الرايزوسفير بإستعمال الادارة السليمة و/او إضافة اللقاحات الحيوية المختارة او المعزولة محلياً والفعالة. عملية إضافة اللقاح ومدى نجاحه يختلف حسب نوع اللقاح المستعمل وكفائه ومنافسة الاحياء المجهرية الاصلية له تعد ايضاً من الامور المهمة في نجاح دور الاحياء المجهرية في تجهيزها للفسفور. ومع ان تحولات الفسفور الحيوية هي مركز تحولات الفسفور في التربة ولاسيما معدنة الفسفور العضوي الا ان الجدوى الاقتصادية تحتاج الى دراسة في نظم الحراثة التقليدية والزراعة الحافظة. كما ان تحولات الفسفور هذه وجاهزيته وتزامنها مع متطلبات النبات للفسفور ولاسيما في مراحل النمو السريعة من الامور المهمة التي يجب ان تؤخذ بالاعتبار. والاحياء المجهرية القادرة على تشجيع النبات لإمتصاص الفسفور تمثل مدى واسع من الاحياء (واللقاحات الناتجة عنها) وهذه الاحياء مطلوبة في ترب مختلفة ولمحاصيل مختلفة وتعمل تحت ظروف بيئية مختلفة، وهناك من ذهب الى تطوير او اقتراح مجموعة او مزيج من الاحياء المجهرية التي يمكن ان تكون فعالة ضمن مدى واسع من الظروف والمحاصيل والترب مثل اللقاح المنتج في الصين وانتج قبل مدة في سوريا وهو ما يطلق عليه بالـ EM (Effective Microorganism) (53).

التلقيح بالمايكورايزا AM وإدارة المايكورايزا الاصلية:

أن التلقيح على مستوى الحقل يواجه دائماً بضعف في النوعية الجيدة للقاح وصعوبات في إنتاجه (37) وان التأثير الايجابي للتلقيح بالمايكورايزا في إمتصاص النبات للفسفور متوقع في الترب ذات المحتوى الواطئ الى المتوسط وذات المحتوى القليل للمايكورايزا الاصلية. بالمقابل من الصعوبة تأسيس احياء دخيلة في تربة تحوي فطريات اصلية متأقلمة بشكل جيد وهناك امكانية لتثبيط الاحياء الدخيلة (28). الى ان الإستجابة في النمو والحاصل لنباتات ملقحة بالمايكورايزا في الحقل اشير اليها في عدد من المصادر (42 و 51). ومن الامور المشجعة للمايكورايزا استعمال الصخر الفوسفاتي وتجنب تعاقب المحاصيل التي يتم فيها زراعة محصول

Availability and Yield of Maize .Ph.D Disser - tation, College of Agriculture, University of Baghdad.pp:155.

4.Ali-Hadithi, B. A. A. and A. M. S. ALazawi 2015. The effect of (*Glomus moss -eae*) and(*Aspergillus niger*) on the availability of P of RP, some elements and heat growth.Tikrit Univ. J.of Agric.Sci.15(1):91-108.

5.Ali, N. S. 2012. Fertilizer Technology and Uses. University of Baghdad printing House, MOHESR.pp:120

6.Ali, N.S.; H.S. Rahi and A.A.Shaker .2014.Soil Fertility. Scientific Book Assoc - iation Printing House, Baghdad, Iraq.pp :307

7.Ali, N. S. and N.Y.N.Ahmed .2000 .Phosp - hate sorption and precipitation in calcareous soil. Iraqi J.of Agric.Sci.31 (2):91-118.

8.Ali,N.S. and S.M.A.Al-Kalil.2011.The role of bio fertilizer in substituting inorganic fertilizer as related to tomato productivity The J. of Iraqi Soil Sci.2011(9) (1): 167-175.

9.Ali, N.S. and H.W.Al-Juthery.2015.The combined effect of different fertilizer sources and irrigation method on potato and water productivities under Iraqi conditions .Internat - ional J. of Recent Scientific Research 6(8): 5569 -5572, August, 2015.

10.Al-Neimi, S.N.1999. Fertilizers and Soil Fertility. Univ.of Al-Mosul printing House, MOHESR.

11.Al-Saadi, I.S.S.; N.S.Ali.and I. M. Audama. 2013. The role of EM in N, P, K fertilization and yield of some crops.Confidential Report, MOA.

12.Al-Samarrai, I.K.; N.D.Salman and F.R.Naser.2004.The Interactive effect of mixed AMF with RP on the growth components and yield of Tobacco. The Iraqi J.of Agric.Sci.35 (5): 25 -34.

13.Al-Samrriai, I.K. and H.S.Rahi .2007.Responce of maize to organic and biofertilization. The Iraqi J.of Agric. Sci. 38(3):12-17.

14.Al-shabani, J.A.K.2005. Effect of Organic- Bio Fertilization on Tomato Yield. PhD Disser tation, College of Agriculture, University of Baghdad, Iraq.

15.Al-Zubaidy, R.A.I. 2015. Effect of Agricu lture sulfur on Urease and Phosphatase activity and availability of N & P to Sorghum Crop. PhD dissertation, College of Agriculture, University of Basra, Iraq.

الدراسات المختلفة نجاحات هنا وهناك الا انها محدودة التطبيق على المستوى الحقل. وفي العقد الاخير ونتيجة زيادة الوعي البيئي وارتفاع اسعار الاسمدة وتبني فكرة الزراعة العضوية (على نطاق محدود) توسع استعمال الاسمدة الحيوية المذبية للفوسفات (البكتيرية والفطرية) المعزولة محلياً او المستوردة بشكل سماء، فضلاً عن الاستمرار في دراسات المايكورايزا الا ان التطبيق الميداني لايزال محدوداً (3و4 و8 و9). وبينت الدراسات امكانية استعمال هذه الاسمدة وامكانية توفيرها لجزء من متطلبات المحاصيل . إذ بينت بعض الدراسات امكانية التسميد الحيوي الفوسفاتي والنيتروجيني المضاف معاً في التعويض عن 25% من متطلبات محصول الطماطة في الزراعة المحمية (8) و25-50% من متطلبات محصول البطاطا المزروع تحت نظم ري مختلفة(9) وعوضت عن حوالي 30كغم P^{-1} في محصول الذرة الصفراء (3). وهناك بعض التجارب الاولية التي نفذت في وزارة الزراعة بإستعمال السماد الحيوي EM ولمحاصيل مختلفة (11). إن اختلاف الاستجابة ومدى نجاح التسميد الحيوي محلياً وعالمياً يعتمد على نوع الكائنات الحية في السماد وطريقة تحضير السماد وتحمله ونوع التربة والتسميد العضوي (مدى توافر الطاقة للأحياء في التربة) والتسميد المعدني المضاف والظروف البيئية المحيطة والمحصول المسمد به. ويمكن القول ان النتائج التي تم الحصول عليها مشجعة لاسيما عند ترافق التسميد الحيوي مع التسميد العضوي وهي ممارسة مهمة في الزراعة العضوية التي بدأت اول خطاها في العراق بتأسيس مركز وطني للزراعة العضوية في وزارة الزراعة الا ان الاعتماد الكامل على التسميد الحيوي في تلبية متطلبات النبات من الفسفور لايزال غير متحقق والتسميد المتكامل المعدني والعضوي والحيوي يعد الممارسة الافضل في الوقت الحاضر للحصول على إنتاجية عالية ونوعية جيدة وزراعة مستدامة وصديقة للبيئة.

REFERENCES

- 1.Abduredhah, H.A .2015. Personal commu - nication .College of Agric., University of Baghdad.
- 2.Al-Ani,A.N.1980.Principles of Soil Scie - nce. University of Baghdad printing House, MOHESR.pp:200.
- 3.Al-Bahrani, I.Q.M. 2015.Effect of PSB and Humic acid on P Balance ,Nutrient

16. Amijee, F., P.B. Tinker, and D.P. Stribley. 1989. Effects of phosphorus on the morphology of VA mycorrhizal root-system of leek (*Allium porrum* L). *Plant Soil* 119:334–336.
17. Awasthi, R.; R. Tewari and H. Nayyar. 2011. Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: Effects on growth and physiology of crops (Review). *International Research Journal of Microbiology (IRJM)* ,2(12) : 484-503.
18. Azcon, R., J.M. Barea, and D.S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 8:135–138.
19. Bago, B., W. Zipfel, R.M. Williams, J. Jun, R. Arreola, P.J. Lammers, P.E. Pfeffer, and Y. Shachar-Hill. 2002. Translocation and utilization of fungal storage lipid in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiol.* 128:108–124.
20. Barea, J.M., M. Toro, M.O. Orozco, E. Campos, and R. Azcon. 2002. The application of isotopic (^{32}P and ^{15}N) dilution techniques to evaluate the interactive effect of phosphate-solubilizing rhizobacteria, mycorrhizal fungi and *Rhizobium* to improve the agronomic efficiency of rock phosphate for legume crops. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 63:35–42.
21. Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134:189–207.
22. Chen, C.R., L.M. Condon, M.R. Davis, and R.R. Sherlock. 2002. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.) *Soil Biol. Biochem.* 34:487–499.
23. Dalal, R.C. 1999. Soil microbial biomass - what do the numbers really mean? *Aust. J. Exp. Agric.* 38:649–665.
24. Facelli, E., and J.M. Facelli. 2002. Soil phosphorus heterogeneity and mycorrhizal symbiosis regulate plant intraspecific competition and size distribution. *Oecologia* 133:54–61.
25. Giri, B.; P. H. Giang; R. Kumari; R. Prasad; and A. Varma. 2005. "Microbial Diversity in Soils". *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions.* *Soil Biology* 3. pp. 19–55.
26. Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L.J. Parekh, and P.S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant Soil* 245:83–93.
27. He, Z.L., J. Wu, A.G. O'Donnell, and J.K. Syers. 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. *Biol. Fertil. Soils* 24:421–428.
28. Hepper, C.M., C. Azcon-Aguilar, S. Rosendahl, and R. Sen. 1988. Competition between 3 species of *Glomus* used as spatially separated introduced and indigenous mycorrhizal inoculate for leek (*Allium-porrum* L). *New Phytol.* 110:207–215.
29. Jakobsen, I., B. Chen, L. Munkvold, T. Lundsgaard, and Y-G. Zhu. 2005. Contrasting phosphate acquisition of mycorrhizal fungi with that of root hairs using the root hairless barley mutant. *Plant Cell Environ.* 28:928-938.
30. Jakobsen, I and M. E. Leggett. 2005. Rhizosphere Microorganisms and Plant Phosphorus Uptake. In: *Phosphorus: Agriculture and the Environment*, Agronomy Monograph N^o. 46. ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI 53711, USA.
31. Johnston, A.E. 2000. Soil and plant phosphate. *Int. Fertilizer Industry Assoc.*, Paris
- Jonasson, S., A. Michelsen, I.K. Schmidt, E.B. Nielsen, and T.V. Callaghan. 1996. Microbial biomass C, N and P in two arctic soils and responses to addition of NPK fertilizer and sugar: Implications for plant nutrient uptake. *Oecologia* 106:507–515.
32. Joner, E.J., and A. Johansen. 2000. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol. Res.* 104:81-86.
33. Linderman, R.G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78 :366–371.
34. Liu, A., C. Hamel, R.I. Hamilton, and D.L. Smith. 2000. Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. *Plant Soil* 221:157–166.
35. Mader, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science (Washington, DC)* 296:1694–1697.

36. O'Connor, P.J., S.E. Smith, and F.A. Smith. 2002. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herb land. *New Phytol.* 154:209–218.
37. Oberson, A., D.K. Friesen, I.M. Rao, S. Buhler, and E. Frossard. 2001. Phosphorus transformations in an oxisol under contrasting land-use systems: The role of the microbial biomass. *Plant Soil* 237:197–210.
38. Piex, A., A.A. Rivas-Boyer, P.F. Mateos, C. Rodriguez-Barrueco, E. Martinez-Molina, and E. Velazquez. 2001. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. *Soil. Biol. Biochem.* 33:103–110.
39. Randall, P.J., J.E. Hayes, P.J. Hocking, and A.E. Richardson. 2001. Root exudates in phosphorus acquisition by plants. P.71–100. In N. Ae *et al.* (ed.) *Plant nutrient acquisition—new perspectives.* Springer, Tokyo.
40. Read DJ. 2002. Towards ecological relevance Progress and pitfalls in the path towards an understanding of mycorrhizal functions in nature. In: van der Heijden MGA, Sanders IR, eds. *Mycorrhizal Ecology.* Berlin: Springer-Verlag. pp 3–29.
41. Rengel, Z. 2002. Breeding for better symbiosis. *Plant Soil* 245:147–162.
42. Rice, R.W., L.E. Datnoff, R.N. Raid, and C.A. Sanchez. 2002. Influence of *vesicular-arbuscular mycorrhizae* on celery transplant growth and phosphorus-use efficiency. *J. Plant Nutr.* 25:1839–1853.
43. Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:897–906.
45. Simard, S.W., D. Durall, and M. Jones. 2002. Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants. p. 33–74. In M.G.A. van der Heijden and I.R. Sanders (ed.) *Mycorrhizal ecology.* Springer, Berlin, Germany.
46. Smith, S. E., and D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis.* Academic Press, London. pp:605.
47. Subba-Rao, N.S. 1982. Phosphate solubilization by soil microorganisms. p. 295–303. In N.S. Subba-Rao (ed.) *Advances in agricultural microbiology.* Oxford & IBH Publ., New Delhi, India.
- Surrange, S. 1985. Comparative phosphate solubilizing capacity of some fungi. *Curr. Sci.* 54:1134–1135.
48. Tarafdar, J.C., R.S. Yadav, and S.C. Meena. 2001. Comparative efficiency of acid phosphatase originated from plant and fungal sources. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164:279–282.
49. Thompson, J.P. 1991. Improving the Mycorrhizal Condition of The Soil Through Cultural Practices and Effects on Growth and Phosphorus Uptake by Plants. In C. Johansen et al. (ed.) *Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics.* ICRISAT, Patancheru, India. pp. 117–137.
50. Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Adv. Agron.* 69:99–151.
51. Wikipedia .2015. Wikipedia, the free encyclopedia
52. Wu, T.H., W.Y. Hao, X.G. Lin, and Y.Q. Shi. 2002. Screening of *arbuscular mycorrhizal* fungi for their vegetation of eroded red soils in subtropical China. *Plant Soil* 239:225–235.
53. Wulfsohn, D., J.R. Nyengaard, H.J.G. Gundersen, A.J. Cutler, and T.M. Squires. 1999. Non-destructive, stereological estimation of plant root lengths, branching pattern and diameter distribution. *Plant Soil* 214:15–26.
54. Yamada, K.; Xu, H. L. 2001. "Properties and Applications of an Organic Fertilizer Inoculated with Effective Microorganisms". *Journal of Crop Production* 3: 255–268.
55. Yousefi, A., and A. R. Barzegar .2014.. Effect of *Azotobacter* and *Pseudomonas* bacteria inoculation on wheat yield under field condition. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)* 7(9): 616-619.
56. Zaidi, A., M.S. Khan, and M. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Eur. J. Agron.* 19:15–21.