المعاملة بأى منهم مرتان، وكانت أولاهما عند اكتمال تكوين الورقة الأولية، ثم كانت الثانية بعد عشرة أيام. أدت جميع المعاملات إلى زيادة الوزن الجاف للنمو الجذرى، وإلى نقص نسبة النموات القمية إلى النموات الجذرية؛ الأمر الذى جعل النباتات أكثر قدرة على تحمل ظروف الجفاف (عن Weaver ١٩٧٢).

المعاملة بالجليسين بيتين

يؤدى تعرض الفاصوليا لنقص الرطوبة الأرضية إلى زيادة محتواها من الجيليسين بيتين glycine betaine بنسبة حوالى ٢٦٪ مقارنة بالنباتات المروية جيدًا. وقد أدت معاملة النباتات بالجليسين بيتين بتركيز ١٠ ملل مول إلى زيادة قدرتها على تحمل نقص الرطوبة الأرضية عن نباتات الكنترول، حيث كانت النباتات المعاملة بالمركب أبطأ – خلال فترة التعرض لظروف الجفاف – فى نقص الجهد المائى فيها؛ ومن ثم كانت أبطأ فى ظهور أعراض الذبول عليها، كما كانت أقدر على استعادة وضعها الطبيعى بعد زوال حالة الجفاف. وبينما أدى نقص الرطوبة الأرضية إلى نقص معدل البناء الضوئى فى النباتات، وبطء نموها، فإن المعاملة بالجليسين بيتين تغلبت على تلك المشاكل، حيث لم يتأثر فيها النمو الكلى أو محصول القرون، أو تأثرًا قليلاً، مقارنة بما حدث فى النباتات التى لم تعامل بالمركب (Xing & Rajashekar ١٩٩٩).

المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية

تعتبر الفاصوليا من أقل البقوليات كفاءة فى التعايش مع بكتيريا العقد الجذرية التى تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى. والنوع الذى يتخصص على الفاصوليا هو *Rhizobium phaseoli*.

الاختلافات الوراثية بين الأصناف

تتوفر اختلافات وراثية كبيرة بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى قدرة جذورها على المعيشة تعاونيًّا مع بكتيريا الرايزوبيم، فمثلاً .. تعد سلالة الفاصوليا R32-BS15 عالية الكفاءة حيث وجد أن أعداد العقد الجذرية فيها زادت بمقدار ٦ أضعاف عن نظيراتها التى تكونت فى الصنف ريكو Rico، كما ازداد الوزن الجاف لتلك العقد بمقدار الضعف فى السلالة R32-BS15 عما فى الصنف (Hansen وآخرون ١٩٩٣).

العوامل المؤثرة

مراحل النمو النباتى

تزداد كفاءة عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى فى العقد البكتيرية بجذور الفاصوليا كلما تقدمت النباتات فى العمر، وتكون تلك العملية فى أوجها خلال مرحلتى الإزهار وعقد الثمار. وقد قدر Pena-Cabriales وآخرون (١٩٩٣) كمية النيتروجين التى تتراكم فى نباتات الفاصوليا حتى ٧٧ يومًا من الزراعة بنحو ١٤٠ كجم/هكتار (١٤٧ كجم فى الصنف Bayocel، و ١٣٥ كجم فى الصنف Flor de Mayo RMC) وحُصِلَ على نصفها تقريبًا من نيتروجين الهواء الجوى، أى أن النيتروجين المثبت كان بمعدل حوالى ٣٠ كجم للفدان.

ولا تختلف طرز الفاصوليا القائمة (محدودة النمو) والمتسلقة (غير المحدودة النمو) عن بعضها البعض فى موعد بداية تكوين الرايزوبيم فى جذورها (Morrison & Baird ١٩٨٧)، ولكن تقل – بصورة عامة – قدرة الجذور على تثبيت آزوت الهواء الجوى مع بداية امتلاء القرون (Vikman & Vessey ١٩٩٢).

السلالات البكتيرية

تعتبر سلالات الرايزوبيم الأكثر إنتاجًا للمركب المعروف باسم تراى فو ليتوكسين trifolitoxin أكثر قدرة على تكوين العقد الجذرية بالفاصوليا، وكانت نسبة الزيادة فى تكوين العقد التى أحدثتها إحدى سلالات البكتيريا *Rhizobium etli* القادرة على إنتاج هذا المركب حوالى ٢٠٪ (Robleto وآخرون ١٩٩٨).

يتكون فى العقد الجذرية لسلالات الفاصوليا الأكثر تحملاً لظروف الجفاف مستويات عالية من الترى هالوز trehalose. ومن بين أنواع بكتيريا الرايزوبيم التى لوحظت معها تلك الخاصية كلا من *Rhizobium etli*، و *R. tropici* (Farias-Roriguez وآخرون ١٩٩٨).

محفزات النمو الحيوية

سبق أن أوضحنا فى الفصل السابع التأثير المحفز للميكوريزا على تكوين العقد

الجذرية وزيادة نشاطها فى تثبيت آزوت الهواء الجوى. كذلك وجد أن للبكتيريا التى تعيش فى محيط جذور النباتات (الرايزوسفير) تأثيرات إيجابية مماثلة.

فيستفاد من دراسات Burdman وآخرين (١٩٩٧) أن تلقيح النباتات بالبكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى *Azospirillum* مع بكتيريا الرايزوبيم أدى إلى زيادة معدلات تثبيت النيتروجين الجوى فى العقد الجذرية لبكتيريا الرايزوبيم.

كذلك ازدادت معنويًا قدرة جذور الفاصوليا على المعيشة تعاونيًا مع البكتيريا *Rhizobium etli* عندما لقحت الجذور بلقاح مشترك من بكتيريا الرايزوبيم مع البكتيريا *Bacillus megaterium*. ويبدو أن مقاومة الفاصوليا للمعيشة تعاونيًا مع بكتيريا الرايزوبيم تنخفض عند تفاعل نوعًا البكتيريا – فى آن واحد – مع الجذور (Srinivasan وآخرون ١٩٩٧).

التسميد الآزوتى

من المعلوم أن زيادة التسميد الآزوتى فى الفاصوليا يؤثر سلبيًا فى كفاءة تكوين العقد الجذرية. ونظرًا لضعف كفاءة الفاصوليا فى التعايش تعاونيًا مع بكتيريا العقد الجذرية، فإنها تسمد بغزارة بالأسمدة الآزوتية؛ الأمر الذى يثبط أية فرصة لتكوين العقد الجذرية.

وعلى الرغم من أن معدلات التسميد الآزوتى أثرت بدرجات مختلفة – خلال مختلف مراحل النمو النباتى – على الوزن الجاف للعقد الجذرية ونشاط إنزيم النيتروجينيز nitrogenese .. إلا أنها لم تؤثر على كمية النيتروجين المثبتة (Muller وآخرون ١٩٩٣).

التسميد الفوسفاتى

وجد أن زيادة محتوى بذور الفاصوليا من الفوسفور إما بإنتاج التقاوى تحت ظروف التسميد الجيد بالفوسفور، وإما بنقع البذور قبل زراعتها فى محلول ٢٠٠ ملى مولار من KH_2PO_4 .. أدى ذلك إلى جعل النبات أقل اعتمادًا على الفوسفور الأرضى، وتحفيز تكوين العقد الجذرية، وزيادة تثبيت النيتروجين الجوى (Teixeira وآخرون ١٩٩٩).

التسميد بالموليبدنم

من المعلوم أن قدرة بكتيريا الرايزوبيم على تثبيت آزوت الهواء الجوى تنخفض عند نقص عنصر الموليبدنم فى التربة (Climax Molybdenum Company ١٩٥٦).

وقد أدت معاملة بذور الفاصوليا بالموليبدنم إلى زيادة نشاط إنزيمى النيتروجينيز nitrogenase، والنيتريت ردكتيز nitrate reductase، وزيادة تراكم النيتروجين الكلى فى النموات الخضرية، وقد حدثت تلك الزيادات من خلال تنشيط الموليبدنم لكفاءة بكتيريا الرايزوبيم فى التربة. كذلك تساوى تأثير كل من رش النباتات بموليبدات الأمونيوم مع التسميد الأرضى بالنيتروجين فى زيادة محتوى القرون من النيتروجين، كما تساوى المحصول فى كلا المعاملتين؛ مما يعنى أنه – فى بعض الأراضى – يمكن أن يحل الرش بكميات صغيرة من الموليبدنم محل التسميد بالنيتروجين (Vieira وآخرون ١٩٩٨ ب).

مستوى ثانى أكسيد الكربون الجوى

تزداد كفاءة تكوين العقد الجذرية بزيادة مستوى ثانى أكسيد الكربون فى بيئة النبات؛ مما يدل على أن توفر المواد الكربوهيدراتية للعقد يعد عاملاً محددًا لتكوينها. ويؤيد ذلك أن تثبيت آزوت الهواء الجوى ينخفض سريعًا مع بدء نمو القرون حيث تنافس القرون العقد الجذرية على الغذاء المجهز. ويؤدى تأخير الإزهار فى الصنف Porrillo Sintetico – وهو صنف قصير النهار – بزيادة طول الفترة الضوئية – يؤدى ذلك إلى إحداث زيادة كبيرة فى معدل تثبيت آزوت الهواء الجوى (عن Davis ١٩٩٧).

المنشطات الحيوية

التأثير الفسيولوجى

سبق أن أوضحنا فى الفصل السابع الدور الذى تلعبه فطريات الميكوريزا فى زيادة كفاءة تثبيت نيتروجين الهواء الجوى بواسطة بكتيريا الرايزوبيم التى تعيش تعاونيًا مع الجذور. إلى جانب ذلك فإن المعاملة بفطريات الميكوريزا *Glomus clarum*، و *G. etunicatum*، و *G. manihotis*، و *Gigaspora margarita* أدت إلى زيادة الوزن