

الكشف المبكر عن الصدأ البني (صدأ الورقة) *Puccinia recondita* على نبات القمح

باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد

إياد أحمد الخالد⁽¹⁾ وباسل القاعي⁽²⁾ وأسماء مقدح⁽³⁾

(1). الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سورية.

(2). قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة البعث، حمص، سورية.

(3). الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، حمص، سورية.

*للمراسلة: د. إياد أحمد الخالد: (dr.eyadalkhaled@gmail.com)

تاريخ القبول: 2015/08/01

تاريخ الاستلام: 2015/06/29

المخلص:

نفذت تجربة حقلية في أحد حقول المزارعين في شمال مدينة حمص في سورية للموسم الزراعي 2009/2008 بهدف دراسة الخصائص الطيفية لنباتات القمح السليمة والمصابة بالصدأ البني *Puccinia recondita* وإمكانية الكشف المبكر عن المرض قبل ظهور أعراضه على النبات، وتبين من خلال الخصائص الطيفية للنباتات وجود فروق معنوية في الانعكاس الطيفي بين النباتات السليمة والمصابة بعد أسبوع من إحداث العدوى الاصطناعية بالفطر المسبب لمرض الصدأ البني وذلك بتاريخ 2009/4/9 عند المجال الطيفي الممتد من 750-1060 نانومتر والممثلة للمجال الطيفي تحت الأحمر القريب NIR وتحت الأحمر القصير SIRW. حيث سجلت النباتات السليمة قيم انعكاس أعلى من النباتات المصابة في هذا المجال وكانت نسبة الانعكاس الطيفي عند المجال 790-810 نانومتر للنباتات السليمة 64.68% مقابل 60.34% للنباتات المصابة، وازدادت الفروق في نسبة الانعكاس الطيفي بين النباتات السليمة والمصابة في هذا المجال مع ظهور أعراض المرض وازدياد شدته على النباتات وذلك بتاريخ 2009/5/21، حيث كانت نسبة الانعكاس الطيفي عند الحزمة 20 من الطيف تحت الأحمر القريب والممثلة للمجال الطيفي (790-810) 44.22 و 33.65% للنباتات السليمة والمصابة على التوالي. كما أظهرت النتائج أن المجال الطيفي تحت الأحمر الممتد من 750 إلى 940 نانومتر هو المجال الطيفي الأفضل للكشف المبكر عن مرض الصدأ البني على القمح حيث وجدت فروق معنوية في قيم الانعكاس بين النباتات السليمة والمصابة بهذا المجال بعد أسبوع من إحداث العدوى الصناعية بالفطر المسبب للمرض وذلك قبل 21 يوم من ظهور أعراض المرض على النباتات المصابة واستمر هذا الفرق في قيم الانعكاس حتى نهاية موسم النمو.

الكلمات المفتاحية: القمح، الصدأ البني، الانعكاس الطيفي، العدوى الاصطناعية، سورية.

المقدمة:

يعد القمح من أكثر المحاصيل زراعة في العالم وذلك كونه مصدر غذائي أساسي لمعظم الشعوب. ويأتي في مقدمة المحاصيل المزروعة في سورية من حيث المساحة والإنتاجية والأهمية حيث بلغت المساحة المزروعة بالقمح في سورية حوالي 1374077 هكتار بإنتاج يقدر 3182111 طن ومردود 2316 كغ/هكتار (وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، 2013). يصاب القمح بالعديد من الأمراض منها أمراض الصدأ والتي تسبب له أضراراً كبيرة، يبلغ عدد أنواع هذه الفطور المعروفة حتى الآن 5000 نوع تقريباً (خليل، 2003). وتعد تقنية الاستشعار عن بعد من التقنيات المستخدمة مؤخراً في دراسة تأثير الإجهادات المختلفة على محصول القمح (الملوحة، الجفاف، الأمراض،....) لما لها من دور كبير في توفير بيانات تساعد على التخفيف من آثار هذه الإجهادات مما يمهد إلى تطوير طرق مكافحة بسيطة وفعالة ومريحة بالاعتماد على هذه التقنية (الداغستاني، 2003).

أكد العديد من العلماء ومنهم Guyer Woebbecke *et al.*, (1995) و Lillesand and Kiefer (2000) و Bennedsen (2005) أن الاختلافات اللونية والشكلية (المورفولوجية) للنباتات تعد الأساس لتمييز النباتات المجهدة والمصابة وأن البيانات الطيفية والتقييم الشكلي بواسطة أجهزة قياس الطيف هي الأساس لقياس هذه الاختلافات. استطاع Bravo *et al.*, (2002) استخدام قياسات الانعكاس الطيفي في الحقل في الكشف المبكر عن مرض الصدأ الأصفر على القمح المتسبب عن فطر *Puccinia striiformis* وتمييز النباتات المصابة عن السليمة بدقة عالية وصلت إلى 96%. كما أشاروا إلى أن أفضل الحزم الموجية في الدراسة للكشف عن مرض الصدأ الأصفر وتمييز النباتات السليمة عن المصابة كانت 10 ± 543 ، 10 ± 630 ، 10 ± 750 ، 10 ± 861 . كما تمكن Ramon, (2006) من الكشف عن مرضي الصدأ الأصفر والتبوع السببوري على القمح باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، حيث وجد أن الصدأ الأصفر كان قابلاً للتمييز بشكل أفضل في الحزمة الموجية الممتدة من 620 إلى 650 نانومتر، بينما التبوع السببوري كان بين 650 إلى 670 نانومتر. واستخدم Cai *et al.*, (2005) الأجهزة الراديومترية الحقلية ASD لدراسة الاستجابة الطيفية للقمح المصاب بالصدأ الأصفر في الحقل وفي البيوت المحمية، ووجد نتيجة الدراسة اختلافات واضحة في الانعكاس الطيفي عند بعض الأطوال الموجية بين القمح المصاب والحامل للأعراض الظاهرية للمرض والقمح ذو الإصابة الكامنة (غير الظاهرة)، كما وجدوا اختلافات في قيم الانعكاس ناتجة عن مستويات مختلفة من شدة الإصابة. وبالتالي تم التأكيد على إمكانية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (الأطياف الفائقة) hyperspectral في مراقبة الصدأ الأصفر على القمح، ووجد Ahlawat *et al.*, (2011) من خلال محاولتهم للكشف المبكر عن صدأ الورقة على ثلاثة أصناف من نبات توت الغابة Blueberry باستخدام القياسات الراديومترية في المجالات الطيفية 549 و 670 و 758 و 905 و 1435 و 1635 و 1779 و 1919 و 2200 نانومتر إلى وجود فروق معنوية واضحة في الانعكاسات الطيفية بين النباتات السليمة والمصابة بالمرض في مراحل مبكرة من حدوث الإصابة في المجالين الطيفيين تحت الأحمر القريب وتحت الأحمر القصير. أما الدراسات حول الصدأ البني فكانت البداية عندما درس Keegan *et al.*, (1956) تأثير صدأ الأوراق والساق في القمح على انعكاس الضوء وأظهرت البيانات بأن الإصابة الحادة قد سببت انخفاض في انعكاس الذروة عندما قورنت بالإصابة المنخفضة للصدأ ما بين الطول الموجي 0.75-1 ميكرومتر. كما وجد Franke *et al.*, (2005) فعالية الحزم الطيفية الفائقة hyperspectral في الكشف المبكر عن مرض الصدأ البني على محصول القمح، حيث أمكنهم التمييز بين النباتات السليمة والمصابة واكتشاف الإصابة بعد 5 أيام من إحداث العدوى الاصطناعية على الأوراق على الرغم من عدم ظهور أعراض الإصابة على النبات. وأظهر كل من Geogr and Franke, (2007) أن الاستجابة الطيفية للنباتات المصابة بمرض الصدأ البني على نبات القمح في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب NIR تكون واضحة بشكل كبير مثلها مثل تأثير الإصابة في المجال الطيفي المرئي VIS ويعود ذلك لتأثير اللون البني للبقع المصابة المماثلة لتلك الأوراق الهرمة. كما لاحظنا تأثير المرض في الكتلة الحيوية للنبات والمساحة الورقية الأمر الذي يعكس على الاستجابة الطيفية في المنطقة تحت الحمراء القريبة والتي تتأثر قيم الانعكاسات فيها بشكل كبير بهذين العاملين.

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية الكشف المبكر عن الصدأ البني بالاعتماد على الخصائص الطيفية للنباتات السليمة والمصابة.

مواد البحث وطرقه:

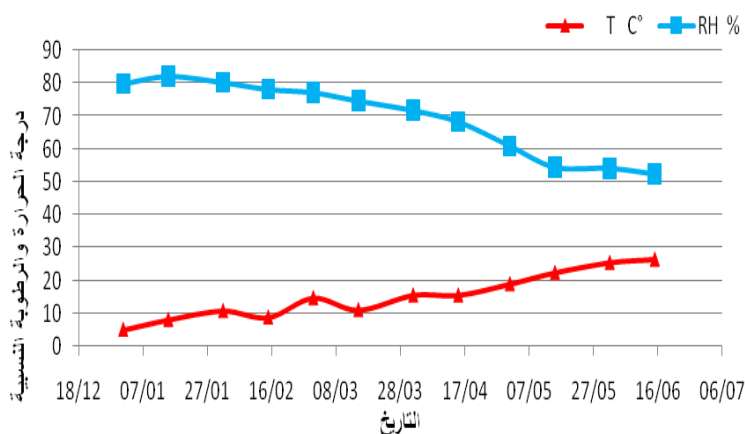
تم إجراء التجربة شمال مدينة حمص للموسم الزراعي 2008/2009. حيث زرع صنف القمح بحوث9 (صنف قمح قاس متوسط المقاومة للصدأ البني MR20) باستخدام معدل بذار 30 كغ/الدونم بتاريخ 2008/12/3، ضمن مجموعتين تضم كل منهما 24 قطعة تجريبية (أبعادها 5*5م) والتي عوملت بالمبيد الفطري الجهازى أورتيفا (Azoxystrobin 250g) وفق ما يلي: أ- المجموعة الأولى: الرش بالمبيد الفطري أورتيفا باستخدام التركيز المنصوح به (800 مل/هكتار) لكافة القطع في هذه المجموعة والتي لن يتم إحداث العدوى الاصطناعية لها بالفطر المسبب لمرض الصدأ البني وذلك لضمان عدم إصابتها بالمرض والمعبرة عن النباتات السليمة (S1).

ب-المجموعة الثانية: عدم الرش بالمبيد الفطري أورتيفا لكافة القطع التجريبية في هذه المجموعة والتي سوف سيتم لها إحداث العدوى الاصطناعية بالفطر المسبب لمرض الصدأ البني والمعبرة عن النباتات المصابة (S2).
تم الرش بالمبيد الفطري أورتيفا بدءاً من تاريخ 2009/3/11 وكرر الرش خمس مرات بتواريخ مختلفة لضمان عدم إصابة القطع السليمة من التجربة.

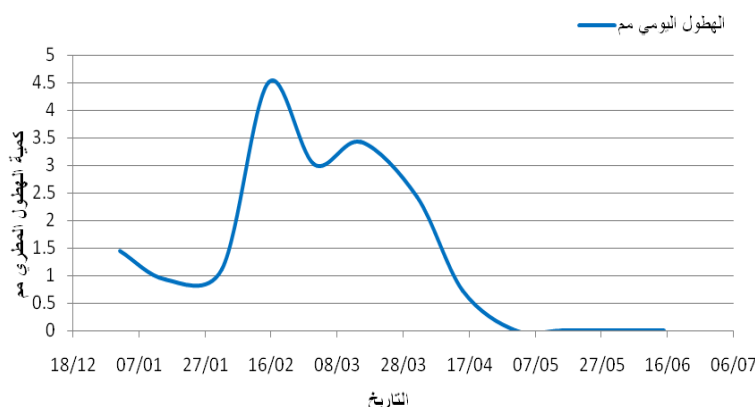
كما تم إضافة الأسمدة الأزوتية والفسفاتيّة والبوتاسية ومكافحة الأعشاب الضارة وفق ما جاء في نشرات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي بهذا الخصوص.

المعطيات المناخية:

ساد مناخ معتدل في موسم الزراعة الممتد من الشهر الأول إلى الشهر السادس حيث تراوح متوسط درجة الحرارة اليومية الصغرى والعظمى ($T^{\circ}C$) بين 5 و $26.6^{\circ}C$ ، أما متوسط الرطوبة النسبية اليومية العظمى والصغرى (RH %) فتراوحت بين 54.1 و 82.1 %، والهطول المطري الكلي خلال هذه الفترة كان 266.8 مم بمتوسط يومي 1.474 مم. تراوحت درجة الحرارة بين $15.5 - 22.5^{\circ}C$ لشهري نيسان/أبريل وأيار/مايو ومتوسط الرطوبة النسبية 54.4 - 71.7 % ومعدل الهطول المطري اليومي 1.58 - 0 ملم لشهري نيسان/أبريل وأيار/مايو على التوالي (الشكلين 1 و 2)



الشكل 1. متوسط الحرارة $^{\circ}C$ والرطوبة النسبية % اليومية خلال موسم النمو 2009



الشكل 2. الهطول المطري اليومي مم خلال موسم النمو 2009

العدوى الاصطناعية:

تم إحداث العدوى الاصطناعية بالفطر المسبب لمرض الصدأ البني لنباتات القمح بتاريخ 2009/4/2 وذلك باستخدام أبواغ يوربية للفطر *Puccinia recondita* تم تأمينها من المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة ICARDA وذلك عن طريق الهيئة العامة للاستشعار عن بعد. حيث تم خلط 1 سم³ من الأبواغ اليوربية مع 3 لتر من الماء + مادة لخفض التوتر السطحي

صابون سائل) ورشت القطع التجريبية بالمحلول عند الساعة السادسة مساءً اعتماداً على ما نشره (Hussien *et al.*, 1997) و (De Vallavieille *et al.*, 2002) حول زيادة الفعالية في إحداث الإصابة ونجاح العدوى في حال تمت عملية التلقيح في فترة الظلام وتم تأمين الرطوبة اللازمة لها، وتغطيتها بأغطية بلاستيكية شفافة تم إزالتها بعد 48 ساعة من رش العدوى الفطرية (Moshou *et al.*, 2003). استعمل لتقدير شدة الإصابة سلم بترسون وكامبل وهو المعتمد دولياً حتى الآن (Peterson *et al.*, 1948) وقيست النسبة المئوية للإصابة بالصدأ مرتين أسبوعياً في فترة النضج اللبني والنضج الشمعي اعتماداً على (Hussien *et al.*, 1998).

القياسات الراديومترية:

تم استخدام جهاز السبيكتروراديو متر FieldSoecPro_ Spectroradiometer من نوع RS3 ماركة ASD الذي يقيس الانعكاسات الطيفية ضمن المجال الطيفي 350 حتى 2500 نانومتر بدقة طيفية 2 نانومتر وبحقل رؤية في الحقل 25 درجة، حيث تم أخذ القراءة الراديومترية على ارتفاع 1.5 متر عن قمة المظلة الخضرية للنباتات Plant Canopy والذي يؤمن مساحة أرضية 0.636 م². سجلت الانعكاسات الطيفية لكافة القطع التجريبية بدءاً من تاريخ الزراعة بواقع 3 قراءات للقطعة الواحدة وبفاصل زمني 15 يوم، حتى إحداث العدوى الفطرية ليصبح الفاصل الزمني للقراءات الراديومترية 2-3 أيام بغية المراقبة المستمرة لنتائج من تحديد موعد بدء التغيرات الفيزيولوجية التي يحدثها المرض وربطها مع القياسات الطيفية. ليكون عدد القراءات الراديومترية في الموسم 21 قراءة. كل قراءة تعبر عن 2150 قيمة تمثل الاستجابة الطيفية عند كل نانومتر على المحور الممثل للطول الموجي من 350 إلى 2500 نانومتر. قسم هذا المجال الطيفي إلى 60 حزمة طيفية كل حزمة منها تعبر عن متوسط الاستجابات الطيفية للقيم الممثلة لهذه الحزمة والموضحة في الجدول (1).

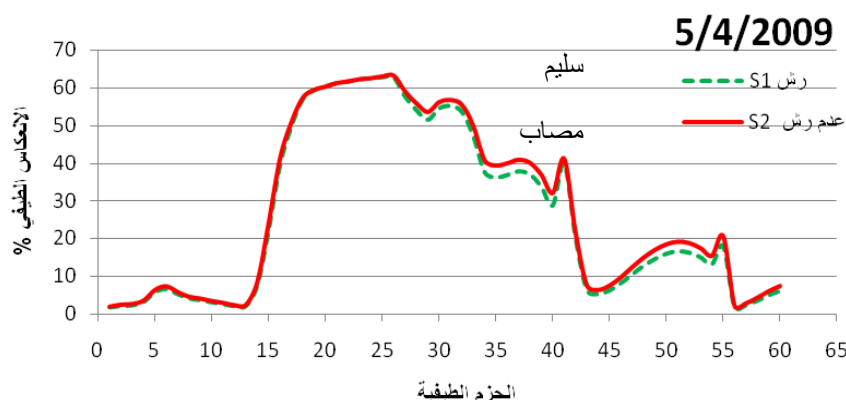
الجدول 1. الحزم الطيفية المستخدمة للتعبير عن الاستجابة الطيفية للقيم الممثلة لهذه الحزم

رقم	الحزم الطيفية نانومتر	رقم	الحزم الطيفية نانومتر	رقم	الحزم الطيفية نانومتر	رقم	الحزم الطيفية نانومتر	رقم	الحزم الطيفية نانومتر
1	400-350	13	690-670	25	910-890	37	1270-1240	49	1690-1660
2	450-400	14	710-690	26	940-910	38	1300-1270	50	1720-1690
3	500-450	15	730-710	27	970-940	39	1320-1300	51	1750-1720
4	520-500	16	739-730	28	1000-970	40	1420-1390	52	1780-1750
5	540-520	17	749-740	29	1030-1000	41	1450-1420	53	1820-1780
6	560-540	18	770-750	30	1060-1030	42	1480-1450	54	1940-1890
7	580-560	19	790-770	31	1090-1060	43	1510-1480	55	1990-1940
8	589-580	20	810-790	32	1120-1090	44	1540-1510	56	2040-1990
9	610-590	21	830-810	33	1150-1120	45	1570-1540	57	2080-2040
10	630-610	22	850-830	34	1180-1150	46	1600-1570	58	2140-2080
11	650-630	23	870-850	35	1210-1180	47	1630-1600	59	2190-2140
12	670-650	24	890-870	36	1240-1210	48	1660-1630	60	2250-2190

تم تحليل البيانات باستخدام اختبار T-Test لمقارنة المتوسطات للصفات الطيفية (الحزم الطيفية من 18 إلى 32) لجميع القراءات (التواريخ) باستخدام برنامج GenStat.12 عند مستوى دلالة 5%.

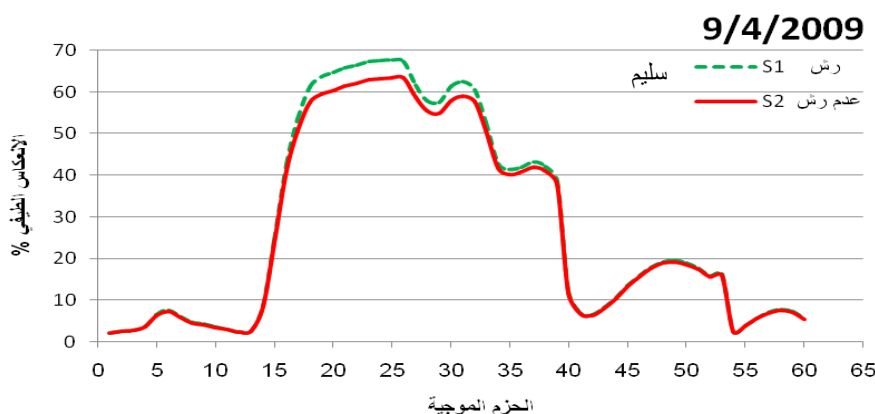
النتائج والمناقشة:

أظهرت النتائج بتاريخ 2009/4/5 (بعد ثلاثة أيام من إحداث العدوى الاصطناعية بالفطر المسبب للمرض) وجود فروق بسيطة غير معنوية (الجدول 2) في قيم الانعكاس بين النباتات المعاملة بالرش بالمبيد الفطري (السليمة غير معرضة لإحداث العدوى الاصطناعية بالفطر S1) والنباتات غير المعاملة بالرش بالمبيد الفطري (المصابة، المعرضة للعدوى الاصطناعية الفطرية S2) عند جميع الحزم الطيفية المقسم لها الطول الموجي. فيما عدا الحزم الطيفية من 30 إلى 40 ومن 50 إلى 55 التي أظهرت سلوك غير مفهوم في وجود فروق في قيم الانعكاس بين النباتات السليمة والمصابة حيث سجلت النباتات المصابة قيم انعكاس أعلى من السليمة على غير المتوقع (الشكل 3).



الشكل 3. الانعكاس الطيفي لنباتات القمح السليمة والمصابة بالصدأ البني بتاريخ 2009/4/5

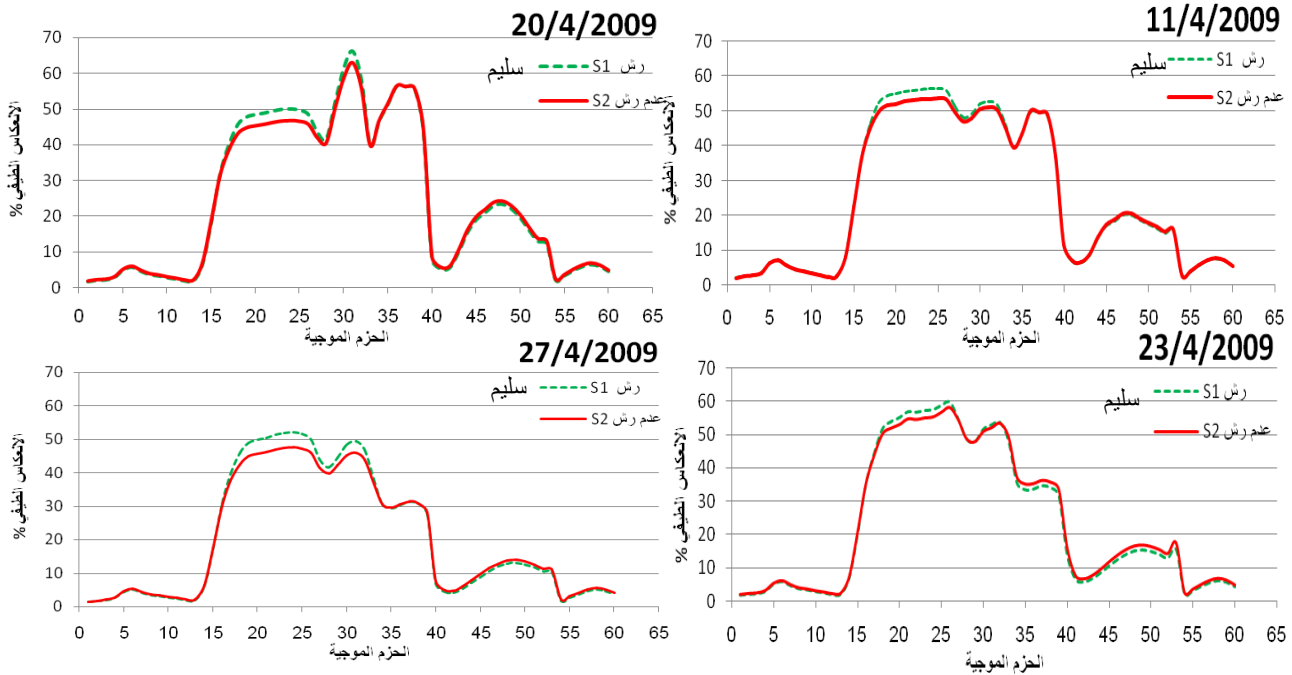
أظهرت النتائج بعد 7 أيام من العدوى الفطرية 2009/4/9 عندما كانت النباتات في مرحلة النمو الخضري الأعظمي أن قيم الانعكاس الطيفي لكل من النباتات السليمة والمصابة المقابلة للحزم الطيفية المدروسة إلى وجود فرق معنوي في هذه القيم عند الحزم الطيفية الممتدة من 18 إلى 30 (الجدول 2) والمقابلة للطول الموجي الممتد من 750 إلى 1060 نانومتر أي المجال الطيفي تحت الأحمر القريب والتحت أحمر القصير (Near and short infrared wave) حيث سجلت النباتات السليمة قيم انعكاسية أعلى من تلك المسجلة عند النباتات المصابة وكان أعلى فرق مسجل عند القناة الطيفية 23 فقد بلغت قيمته 4.47 حيث سجلت النباتات السليمة قيمة انعكاسية 67.36% بينما كانت قيم الانعكاس للنباتات المصابة 62.89% (الشكل 4).



الشكل 4. الانعكاس الطيفي لنباتات القمح السليمة والمصابة بعد إحداث العدوى الاصطناعية بـ 7 أيام وقبل ظهور المرض على النبات بتاريخ 2009/4/9

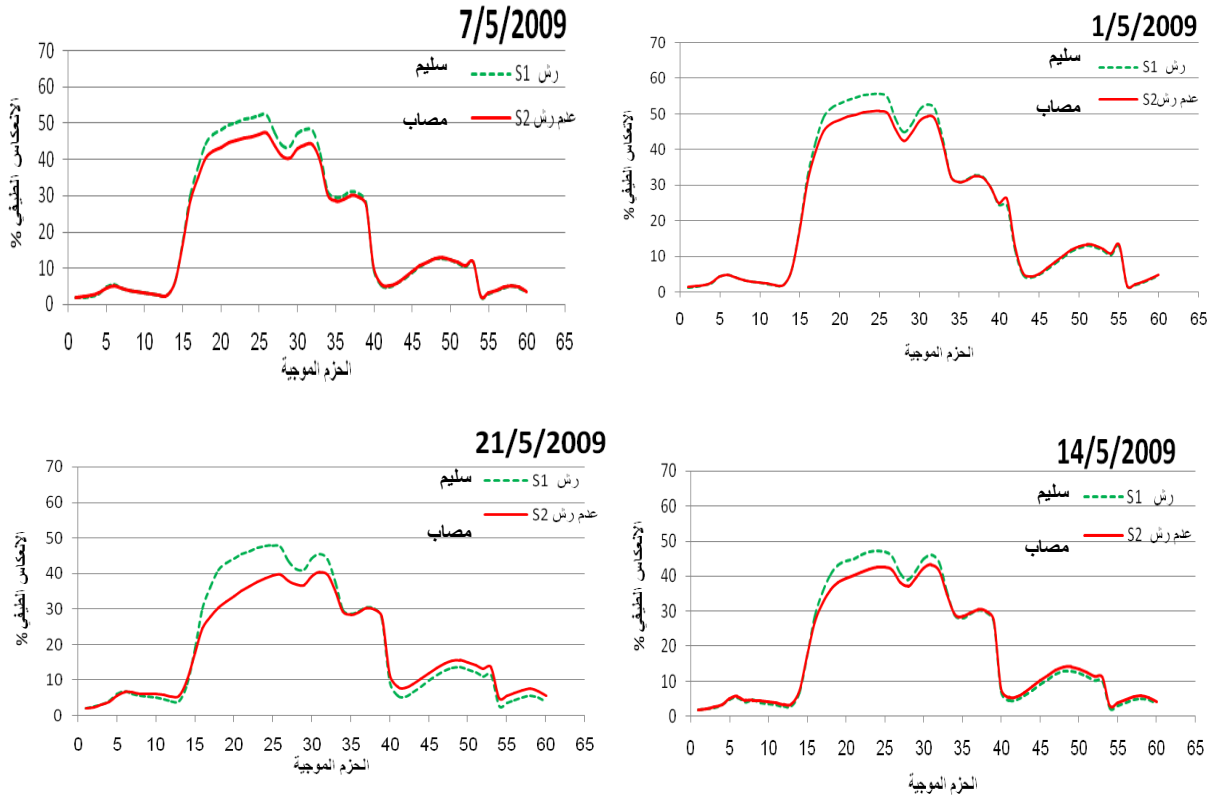
أظهرت النتائج الموضحة في الجدول (2) والشكل (5) إلى وجود فروق معنوية مسجلة في قيم الانعكاس الطيفي عند مستوى الثقة 5% بين النباتات السليمة والنباتات المصابة (الإصابة غير ظاهرة بعد) عند الحزم الطيفية المدروسة من 18-26 والمقابلة للطول الموجي الممتد من 750-940 نانومتر والممثل للمجال الطيفي تحت الأحمر القريب خلال التواريخ 4/11 و 4/20 و 4/23 و 4/27 أي قبل أن تصبح الإصابة ظاهرة على أوراق النبات بتاريخ 2009/5/1 والمتوافقة مع 10 و 18 و 21 و 25 يوم من إحداث العدوى الاصطناعية على التوالي، حيث سجلت النباتات السليمة قيمة مرتفعة للانعكاس عند المجال الطيفي التحت

احمر القريب والقصير بالمقارنة مع النباتات المصابة التي سجلت قيم أقل. وقد يعود السبب في ذلك للتغير الذي يحدث للكتلة الحية ودليل المساحة الورقية والبنية الداخلية للورقة في النباتات نتيجة الإصابة مما يحدث تغير في استجابتها الطيفية عن النباتات السليمة حيث جاءت هذه النتيجة متوافقة مع ما توصل إليه كل من Cai *et al.*, (2005) و Geogr و Franke *et al* (2005) و Franke (2007) ، حيث أشار Franke *et al* (2005) إلى إمكانية الكشف المبكر للصدأ البني على نباتات القمح بعد 5 أيام من إحداث العدوى الاصطناعية للأوراق على الرغم من عدم ظهور أعراض الإصابة على النبات.



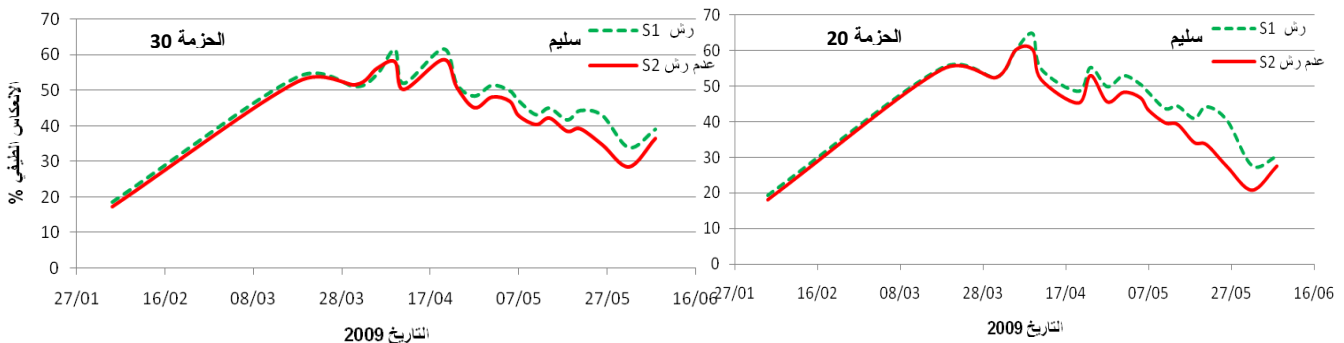
الشكل 5. الانعكاس الطيفي لنباتات القمح السليمة والمصابة قبل ظهور أعراض المرض على النبات بدءاً من 2009/ 4/11 ولغاية 2009/ 4/27

تم تسجيل أول ظهور للمرض بتاريخ 2009/5/1 (مرحلة الإزهار) من خلال ملاحظة الأعراض الأولية للمرض على بعض الأوراق للنباتات في القطع التجريبية التي تم إحداث العدوى لها أي بعد حوالي شهر من إحداث العدوى وعند متابعة نتائج مرحلة الإزهار وحتى بداية اصفرار النبات وجد أن الاستجابة الطيفية أو القيم الانعكاسية للنباتات السليمة كانت مرتفعة عند المجال الطيفي تحت الأحمر القريب والقصير بما يقابل الحزم الطيفية من 18 إلى 32 المقسم لها المجال الطيفي. فعند الحزمة الطيفية 20 المعبرة عن المجال الطيفي 790-810 نانومتر وجد أن النباتات السليمة قد سجلت قيم انعكاسية 52.9 و 50.5 و 48.2 و 43.7 و 44.4 و 40.9 و 44.2 في حين أن النباتات المصابة قد سجلت عند هذه الحزمة الطيفية القيم التالية 48.4 و 46.9 و 43.3 و 39.8 و 39.3 و 34.3 و 33.7 وذلك في تواريخ 5/1 و 5/5 و 5/7 و 5/11 و 5/14 و 5/18 و 5/21 على التوالي (الشكل 6). كما يوضح الجدول (2) أن الفروقات في قيم الانعكاس بين النباتات السليمة والمصابة كانت معنوية عند مستوى الثقة 5%. ويعود السبب في ذلك كما ذكر سابقاً أن هذه الحزم الطيفية المدروسة الممثلة للمنطقة الطيفية تحت حمراء القوية والقصيرة من المجال الطيفي الكهرمغناطيسي تتأثر بشكل كبير بالكتلة الحية للنبات ودليل مساحة الأوراق والبنية الداخلية للورقة وبما أن الإصابة قد ظهرت للعين المجردة وقد اشتدت مع تقدم النبات في العمر فإن هذه التغيرات تكون واضحة بشكل كبير في النباتات المصابة حيث أن كتلتها الحية سجلت القيم 175 و 146.7 غ/10 نباتات في حين كانت للنباتات السليمة 197.4 و 152.5 غ/10 نباتات في التواريخ 5/5 و 5/18 على التوالي، وبلغ دليل المساحة الورقية 7.32 و 3.58 للنباتات المصابة و 7.98 و 3.97 للنباتات السليمة في التواريخ 5/5 و 5/18 على التوالي. وتلعب الإصابة دوراً كبيراً في تغيير البنية الداخلية للورقة الأمر الذي يؤثر على انعكاسية الغطاء النباتي. وهذا ما أكدته كل من Zhang and Dickinson (2001) و West *et al.*, (2003) و Kuckenberg *et al.*, (2009).



الشكل 6. الانعكاس الطيفي لنباتات القمح السليمة والمصابة بعد ظهور أعراض المرض على النبات بدءاً من 2009/5/1 ولغاية 2009/5/21 مما سبق لوحظ أن المنطقة الطيفية تحت الحمراء القريبة والتصيرة والمقابلة للحزم الطيفية المدروسة من 18 ولغاية 30 بأنها الحزم المبشرة للتمييز الطيفي بين نباتات القمح السليمة عن المصابة بالصدأ البني. فعلى سبيل المثال نلاحظ عند الحزمة الطيفية 20 (790-810 نانومتر) والممثلة للمجال الطيفي تحت الأحمر القريب والحزمة 30 (1030-1060 نانومتر) والممثلة في المجال الطيفي تحت الأحمر القصير، أن قيم الانعكاسات الطيفية في النباتات السليمة والمصابة كانت متقاربة جداً حتى تاريخ إحداهن العدوى الاصطناعية الفطرية وبعدها بحوالي 7 أيام من هذا التاريخ لوحظ وجود فروق واختلافات في قيم الانعكاس الطيفي استمرت تقريباً حتى نهاية عمر النباتات مسجلة النباتات السليمة قيم انعكاسية أعلى بشكل ملحوظ من تلك المصابة (الشكل 7). دلت النتائج إلى إمكانية تقسيم فترة نمو نباتات القمح لاستخدام القياسات الراديومترية في تمييز النباتات السليمة عن المصابة بالصدأ البني إلى أربعة مراحل.

الأولى: من الزراعة حتى إحداهن العدوى الاصطناعية، لم تظهر فروقات بين النباتات السليمة والتي سوف تتعرض للعدوى المرضية حيث تعد حينها جميعها سليمة وبالتالي لا يوجد فروقات معنوية في قيم الانعكاس بين الاثنين.



الشكل 7. الانعكاس الطيفي لنباتات القمح السليمة والمصابة عند الحزمة 20 و30 والممثلتان في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب والقصير على التوالي خلال عمر النباتات

الثانية: من إحداهن العدوى الاصطناعية حتى بداية ظهور أعراض المرض. تعتبر هذه المرحلة الأكثر أهمية في الدراسة من الناحية التطبيقية، ففي هذه المرحلة تكون النباتات جميعها سليمة من الناحية الشكلية (المظهر الخارجي) ولا يمكن لعين الإنسان عندها تمييز النباتات السليمة عن المصابة نتيجة للعدوى الاصطناعية لهذه النباتات، في هذه المرحلة تجاوزت القياسات الطيفية الفروقات الشكلية بين النباتات السليمة والمصابة والتي ترصد بالعين المجردة إلى الكشف عن التغيرات الفسيولوجية التي يحدثها المرض خلال فترة الحضانة عند المجال الطيفي تحت الأحمر القريب والتي يستطيع عندها متخذ القرار من أخذ القرارات في اتجاه مكافحة التي تكون ذات فاعلية حينها.

المرحلة الثالثة: والتي تبدأ من ملاحظة أول ظهور للمرض حتى اصفرار النبات يمكن وصفها في فترتين، الأولى: من بداية ظهور المرض حتى اشتداد الإصابة والثانية من اشتداد الإصابة حتى تحولها إلى وباء، ويمكن الاستفادة من تقنيات الاستشعار عن بعد في المرحلة الأولى وأن يكون الكشف عن المرض خلالها قد يحقق بعض الفائدة على صعيد المكافحة وإجراءاتها، أما المرحلة الثانية قد لا يكون لذلك أي أهمية.

المرحلة الرابعة: من اصفرار النبات حتى الحصاد، لا تعتبر لهذه التقنية أي أهمية من وجهة نظر الباحث كون المرض أصبح في مرحلة متأخرة والمكافحة غير مجدية.

الجدول 2. اختبار T-test للمقارنة بين الصفات الطيفية للنباتات السليمة والمصابة بمرض الصدأ البني خلال موسم النمو 2009/2008

التاريخ	الحزم الطيفية المعاملة	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
05/04/2009	S1	56.9	59.4	60.3	61.2	61.6	62.2	62.4	62.8	62.7	57.6	54.0	51.5	54.5	55.1	53.6
	S2	57.4	59.5	60.3	61.3	61.7	62.3	62.6	63.1	63.2	59.1	55.9	53.6	56.2	56.8	55.5
	T-Test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
09/04/2009	S1	61.3	63.6	64.7	65.7	66.5	67.4	67.7	67.8	67.4	61.8	58.0	57.6	61.3	62.5	60.7
	S2	57.5	59.4	60.3	61.4	62.1	62.9	63.2	63.5	63.3	58.7	55.4	54.8	58.0	59.0	57.6
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11/04/2009	S1	52.3	54.3	54.8	55.5	55.8	56.2	56.2	56.4	55.8	51.3	48.1	49.0	51.9	52.7	51.8
	S2	49.9	51.5	52.0	52.6	52.9	53.2	53.3	53.5	53.2	49.6	46.9	47.9	50.3	51.0	50.4
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
20/04/2009	S1	45.8	47.9	48.6	49.0	49.6	50.1	50.0	49.8	48.5	43.7	41.7	51.8	61.5	66.3	58.3
	S2	43.2	44.8	45.3	45.8	46.3	46.6	46.8	46.6	45.7	42.0	40.5	50.1	58.7	63.0	55.9
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
23/04/2009	S1	51.9	54.0	55.2	56.9	57.3	57.6	57.3	58.9	59.9	54.9	48.8	48.0	51.7	53.1	53.7
	S2	50.3	52.0	53.1	54.8	54.6	55.4	55.1	56.8	58.2	54.5	48.8	47.9	51.0	52.1	53.4
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
27/04/2009	S1	46.0	48.9	49.8	50.4	51.3	51.9	52.1	51.5	49.9	43.9	41.6	44.5	48.3	49.4	46.8
	S2	42.6	44.9	45.7	46.1	46.9	47.5	47.7	47.2	46.0	41.4	39.9	42.2	45.2	46.0	44.0
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
01/05/2009	S1	49.0	51.7	52.9	53.9	54.6	55.3	55.5	55.6	54.6	48.7	44.9	47.1	51.3	52.8	51.5
	S2	45.1	47.4	48.4	49.3	49.9	50.4	50.7	50.9	50.2	45.6	42.5	44.7	48.2	49.4	48.5
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
05/05/2009	S1	46.7	49.3	50.5	51.4	52.3	53.2	53.5	53.3	52.1	46.5	43.9	45.9	49.8	51.1	49.1
	S2	43.7	45.9	46.9	47.6	48.4	49.2	49.5	49.4	48.6	44.2	42.0	43.8	47.0	48.1	46.6
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
07/05/2009	S1	44.4	46.8	48.2	49.6	50.2	51.0	51.5	52.2	52.2	47.6	44.1	43.6	47.0	48.3	47.8
	S2	40.3	42.2	43.3	44.6	45.1	45.7	46.2	46.8	47.2	43.8	40.8	40.3	43.0	44.0	43.9
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11/05/2009	S1	40.3	42.7	43.7	44.4	45.2	45.9	46.2	45.9	44.8	40.0	37.9	39.8	43.0	44.1	42.3
	S2	36.9	38.9	39.8	40.4	41.2	41.9	42.3	42.1	41.4	37.7	36.3	37.9	40.4	41.3	39.9
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
14/05/2009	S1	40.7	43.3	44.4	45.1	46.1	46.9	47.2	46.8	45.6	40.8	39.0	41.5	44.9	46.0	43.8
	S2	36.1	38.2	39.3	40.1	41.2	42.0	42.6	42.5	41.8	38.3	37.1	39.5	42.3	43.2	41.6
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
18/05/2009	S1	37.6	39.8	40.9	41.8	42.5	43.2	43.6	43.5	42.7	38.6	36.5	38.6	41.6	42.6	41.2
	S2	31.2	33.0	34.3	35.4	36.4	37.3	38.0	38.3	38.1	35.5	34.3	36.1	38.6	39.5	38.6
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
21/05/2009	S1	40.9	42.9	44.2	45.4	46.3	47.2	47.7	47.9	47.6	43.6	41.3	41.1	44.2	45.4	44.0
	S2	30.5	32.1	33.7	35.1	36.4	37.6	38.6	39.3	39.8	37.9	37.0	36.8	39.3	40.3	39.6
	T-Test	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

S, NS : معنوي وغير معنوي عند مستوى دلالة 5%

الخلاصة:

- 1- أظهرت نتائج دراسة السلوك الطيفي للنباتات السليمة والمصابة بالصدأ البني وجود فروق واضحة في قيم الانعكاس الطيفي بين نباتات القمح السليمة والمصابة بالصدأ البني.
- 2- إمكانية استخدام تقنية الاستشعار عن بعد (قيم الانعكاسية الطيفية) في الكشف المبكر عن مرض الصدأ البني خلال فترة حضانة المرض بعد أسبوع واحد من إحداث العدوى الاصطناعية للمرض قبل 22 يوم من ظهور أول بثرة للمرض على النباتات بشكل ملحوظ للعين المجردة ضمن المنطقة الطيفية تحت الحمراء القريبة الممتدة من 750 إلى 940 نانومتر.

المراجع:

- الداغستاني، نبيل صبحي (2003). الاستشعار عن بعد الأساسيات والتطبيقات. دار المناهج للنشر والتوزيع، عمان، الأردن. 473 ص.
- خليل، حسن (2003). أمراض النبات. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية- جامعة البعث. 430 ص.
- وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي (2013). مديرية التخطيط والتعاون الدولي، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سورية.
- Ahlatwat, V.; Om. Jhorar; L. Kumar; and D. Backhouse (2011). Using hyperspectral remote sensing as a tool for early detection of leaf rust in blueberries. Proceedings 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. April 10-15, Sydney, Australia.
- Bennedsen, B.S. and D.L. Peterson (2005). Performance of a system for apple surface identification in near-infrared images. Biosystems Eng., 90(4): 419-431.
- Bravo, C.; D. Moshou; J. West; A. McCartney and H. Ramon (2002). Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. Biosystems Engineering, 48(2): 137-145.
- Cai, C.J.; Z.H. Ma; H.G. Wang; H.Y. Zhu; M.H. Wang; H. An and C. Huang (2005). Remote sensing research on wheat stripe rust monitoring technology. The Second Asian Conference on Plant Pathology. Pp 35.
- De Vallavieille, P. C.; L. Huber; M. Leconte and O. Bethenod (2002). Preinoculation effect of light quantity on infection efficiency of *Puccinia striiformis* and *P. triticina* on wheat seedlings. Phytopathology. 92:1308-1314.
- Franke, J.; G. Menz; E.C. Oerke and U. Rascher (2005). Comparison of multi- and hyperspectral imaging data of leaf rust infected wheat plants. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology. Vol 2 ed: M. Owe. - Bellingham, WA .
- Geogr, D.; and J. Franke (2007). Spatiotemporal dynamics of stress factors in wheat analysed by multisensoral remote sensing and geostatistics. Diese Dissertation ist auf dem Hoch schul schriften server der ULB Bonn, Erscheinungsjahr.
- Hussien, T.; R.L. Bowden; and B. S. Gill (1997). Performance of four new leaf rust resistance genes transferred to common wheat from *Aegilops tauschii* and *Triticum monococcum*. Plant Disease.81(6): 582-586.
- Hussien, T.; R.L. Bowden; B.S. Gill; and T.S. Cox (1998). Chromosomal locations in common wheat of three new leaf rust resistance genes from *Triticum monococcum*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Euphytica. (101):127-131.
- Keegan, H.J.; J.C. Schleiter; W.A. Hall and G.M. Haas (1956). Spectrophotometric and colorimetric study of diseased and rust resisting cereal crops; Nat. Bur. Stads., P 4591.

- Kuckenberg, J; I. Tartachnyk; and G. Noga (2009). Temporal and spatial changes of chlorophyll fluorescence as a basis for early and precise detection of leaf rust and powdery mildew infections in wheat leaves. *Precision Agriculture*. 10(1):34-44.
- Lillesand, T.M.; and R.W. Kiefer (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2nd ed John Wiley and Sons Inc., New York, .p:144-149.
- Moshou, D.; C. Bravo; S. Wahlen; J. West; A. McCartney and J. De Baerdemaeker (2003). Ramon simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops based on a proximal sensing system and self-organizing Neural Networks. 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, June 2003.
- Ramon, H. (2006). Fungal disease detection in winter wheat by remote sensing. Project (2003-2006), <http://www.kuleuven.be/research/researchdatabase/project/3E05/3E051127.htm>
- Peterson. R.F.; A.B .Campbell and A.E .Hannah (1948). A diagrammatic scale for rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*. (26):496–500
- West, J.S; C. Bravo; R. Oberti; D. Lemaire; D. Moshou; and H.A. McCartney (2003). The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. *Annual Review of Phytopathology*. (41):593-614.
- Woebbecke, D.M.; G.E. Meye; K.V. Bargaen; and D.A. Mortensen (1995). Shape features for identifying young weeds using image analysis. *Transactions of the ASAE*. 38(1):271-281.
- Zhang, L. and M. Dickinson (2001). Fluorescence from rust fungi: a simple and effective method to monitor the dynamics of fungal growth in plant. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. (59):137-141.

Early Detection of Brown Rust (Leaf Rust) *Puccinia recondita* in Wheat Plant Using Remote Sensing Techniques

Eyad Ahmad Al-khaled*⁽¹⁾ Basel Al-kai⁽²⁾ and Asmaa Makdah⁽³⁾

(1). General Organization of Remote Sensing (GORS), Damascus, Syria.

(2). Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Albaath University, Homs, Syria.

(3). (GORS), Homs, Syria.

(*Corresponding author: Dr. Eyad Ahmad Al-Khaled, E-Mail: dr.eyadalkhaled@gmail.com).

Received: 29/6/2015

Accepted: 01/08/2015

Abstract:

The experiment carried out during 2008-2009 season at Homs; the objective was to study the spectral characteristics of healthy and infected wheat plants with brown rust *Puccinia recondita*, and the possibility of early detection of this disease before the symptoms appearance of disease on the plants. The spectral characteristics of plants showed significance differences in reflectance values, for both healthy and inoculums plants after one week of artificial inoculation with fungi on 9/4/2009 within wavelength 750-1060 nm of near infrared NIR and short infrared wave SINW. The healthy plants recorded higher spectral reflectance values more than the infected plants in range of spectrum, the spectral reflectance value within the wavelength 790-810 nm was 64.68 % for healthy plants and 60.34 % for infected plants, and these differences in spectral reflectance values were increased between the healthy and infected plants in this spectral range with the appearance of disease symptoms on the infected plants, and with the increment of disease severity of the infected plants. In 21/5/2009 the spectral reflectance values in the wavelength 790-810 nm were 44.22 -33.65 % for healthy and infected plants, respectively. It was found that the differences in spectral reflectance values between healthy and infected plants were clear in the spectral area of near and short infrared, which represented the wavelength 750-1120 nanometers, and the best wavebands for early detection of brown rust disease were within the range 750 - 940 nanometers of the near infrared NIR spectral range. Where significant differences were found in this range after one week of inoculation with fungi or before almost 21 days from symptoms appearance of disease of the infected plants to the end of the growing season.

Key words: Wheat, Leaf rust, Spectral reflectance, Artificial inoculation, Syria.