أما جدول (١٥-٢) فيبين وزن المتر الطولى – بالجرام – من أغشية البوليثيلين (كثافة ٠,٩٢ جم/سم^3)، التى تختلف فى سمكها وعرضها.

جدول (١٥-٢): وزن المتر الطولى (جم) من أغشية البوليثيلين (كثافة ٠,٩٢ جم/سم^3) التى تختلف فى سمكها وعرضها.

	السمك (ميكرون)						
العرض (م)	٨٠	١٠٠	١٢٠	١٥٠	١٨٠	٢٠٠	٢٥٠
١	٧٤	٩٢	١١٠	١٣٨	١٦٦	١٨٤	٢٣٠
١,٥	١١٠	١٣٨	١٦٦	٢٠٧	٢٤٨	٢٧٦	٣٤٥
٢	١٤٧	١٨٤	٢٢١	٢٧٦	٣٣١	٣٦٨	٤٦٠
٢,٥	١٨٤	٢٣٠	٢٧٦	٣٤٥	٤١٤	٤٦٠	٥٧٥
٣	٢٢١	٢٧٦	٣٣١	٤١٤	٤٩٧	٥٥٢	٦٩٠
٦	٤٤٢	٥٥٢	٦٦٢	٨٢٨	٩٩٤	١١٠٤	١٣٨٠

التأثيرات الفسيولوجية للأغطية البلاستيكية

التأثيرات العامة للون الغطاء ونوعيته على نفاذ الأشعة ونمو الحشائش ومكافحة الحشرات

يتباين تأثير نوع الغطاء البلاستيكى ولونه على تلك الأمور، كما يلى:

١- الأغطية الزيتونية الحرارية Olive thermic:

تسمح هذه الأغشية بنفاذ الأشعة تحت الحمراء لتدفئ التربة نهارًا، ولكنها تمنع الموجات الضوئية النشطة فى البناء الضوئى؛ فتمنع بذلك نمو الحشائش بدرجة كبيرة.

٢- الأغطية الحمراء Red:

تعد هذه الأغشية نصف شفافة (شفانية) translucent بدرجة تسمح بنفاذ الإشعاع وتدفئة التربة، لكنها تعكس – كذلك – الإشعاع نحو النمو النباتى لتغير نسبة الأشعة الحمراء إلى تحت الحمراء. وقد يترتب على ذلك حدوث تغيرات فى تطور النمو النباتى

الخضرى والزهرى وفى الأيض؛ مما يقود إلى التبكير فى الإثمار أو إلى زيادة المحصول فى بعض الخضر.

٣- الأغطية الصفراء Yellow:

يجذب الغشاء الأصفر بعض أنواع الحشرات، مثل الذبابة البيضاء وخنفساء الخيار وبعض أنواع المنّ، ويعمل كمصيدة تمنع إضرار تلك الحشرات بالنباتات المزروعة.

٤- الأغطية الزرقاء Blue:

تجذب إليها التربس.

٥- الأغطية الفضية Silver:

قد تكون هذه الأغشية فضية فقط أو فضية من أعلى وسوداء من أسفل. غالبًا يعمل النوع الأخير على منع نمو الحشائش بسبب منع الطبقة السوداء لنفاذ الضوء. يعمل الغشاء على تبريد التربة، ولكن ليس بنفس درجة تبريد الغشاء الأبيض المبطن بالأسود. كذلك يعمل الغشاء على طرد المنّ والتربس؛ مما يقلل أضرارهما على المحصول.

٦- الأغطية البيضاء White:

تُبرِّد هذه الأغشية التربة، وتنتج غالبًا مبطنة بغشاء أسود لمنع نمو الحشائش.

وبالمقارنة بالأغشية البلاستيكية المستخدمة كغطاء للصوبات، فإنه يوجد منها:

١- الأغشية العائقة لنفاذ الأشعة تحت الحمراء Infrared barrier:

تمتص هذه الأغشية الأشعة تحت الحمراء ذات الموجات الطويلة، وبذا .. فهى تقلل الفقد الحرارى ليلاً، بينما هى تسمح بنفاذ الأشعة تحت الحمراء الأقصر فى طول الموجة (الأعلى طاقة) بما يسمح بتدفئة الصوبة نهارًا. وتسمح هذه الأشعة بنفاذ الأشعة الضوئية للنباتات نهارًا.

٢- الأغشية العاكسة للأشعة تحت الحمراء infrared reflecting:

تعكس هذه الأغشية الأشعة تحت الحمراء؛ بما يحد من ارتفاع حرارة الصوبة نهارًا.

٣- الأغشية المانعة لنفاذ الأشعة فوق البنفسجية UV blocking:

تمتص هذه الأغشية الأشعة فوق البنفسجية حتى طول موجى ٣٩٠ نانوميتر؛ مما يحد من انتشار بعض المسببات المرضية مثل البوترتيس *Botrytis* (Taber ٢٠٠٩).

تأثير الغطاء البلاستيكى ولونه على حرارة التربة

عندما يسقط الضوء على الغطاء البلاستيكى الأسود فإنه يمتص معظم الطاقة الموجودة بالضوء فى كل الموجات الضوئية ذات الأهمية (فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء)، ثم يعيد انبعاث تلك الطاقة لموجات ضوئية طويلة (حرارية). ونظرًا لأن هذا الانبعاث الحرارى يحدث من جانبى البلاستيك (الجانب المواجه للهواء والآخر المواجه للتربة). فإن قدرًا كبيرًا من الطاقة التى يمتصها البلاستيك تفقد فى الهواء. هذا إلاّ أن الأمر يختلف إن كان تلامس الغشاء البلاستيكى للتربة كاملاً، حيث ينطلق قدر كبير من الطاقة التى امتصها البلاستيك إلى التربة بالتوصيل، خاصة وأن درجة التوصيل الحرارى للتربة أعلى بكثير من درجة توصيل الهواء. وتكون حرارة التربة تحت البلاستيك الملتصق جيدًا بالهواء خلال النهار أعلى بمقدار ٣°م على عمق ٥ سم، وبمقدار ١,٥°م على عمق ١٠ سم عما يكون عليه الحال فى التربة غير المغطاة.

أما البلاستيك الشفاف فهو لا يمتص سوى القليل جدًّا من الطاقة الشمسية الساقطة عليه، ولكنه يسمح بمرور أغلبها إلى التربة تحته. وبسبب دفء التربة تحت البلاستيك مع عدم نفاذية البلاستيك للرطوبة فإن الجانب السفلى للغشاء البلاستيكى يتكثف عليه غالبًا بخار الماء. وهذا الغشاء المتليف يكون منفذًا للأشعة الشمسية قصيرة الموجة، لكنه يكون معتمًا للأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة التى تنبعث من التربة. ويعنى ذلك أن الغشاء البلاستيكى مع الغشاء الرطوبى المتكثف يسمح بمرور الطاقة من الشمس إلى التربة لكنهما يمنعان نفاذ الطاقة من التربة للهواء. ولذا .. فإن حرارة النهار تحت البلاستيك الشفاف تزيد — عادة — بمقدار ٤-٨م على عمق ٥ سم، وبمقدار ٣-٥°م على عمق ١٠ سم عما يكون عليه الحال فى التربة غير المغطاة.

ويتوفر ما يعرف بالأغشية المنفذة للأشعة تحت الحمراء infra-red transmitting films ، وهى تمتص الأشعة النشطة فى البناء الضوئى، لكنها لا تنفذ الأشعة تحت الحمراء؛ وبذا لا يمكن للحشائش النمو تحت الغشاء، بينما تدفأ التربة بفعل الأشعة تحت الحمراء التى تنفذ إليها (الإنترنت ٢٠٠٧ http://growingtaste.com/mulches.shtml).

تسمح الأغطية البلاستيكية المنفذة للأشعة تحت الحمراء بتدفئة التربة بصورة وسطية بين التدفئة التى يحدثها البلاستيك الشفاف والبلاستيك الأسود، وهى تكون ملونة لكى تخفض من الضوء المنظور الذى ينفذ من خلالها (لتقليل نمو الحشائش تحت الأغشاء). وبعض هذه الأغطية تكون إما خضراء أو بنية اللون. هذا .. إلا إنه ليست كل الأغطية الخضراء أو البنية منفذة للأشعة تحت الحمراء؛ وذلك لأن تلك الخاصية تتطلب أن يحتوى البلاستيك على صبغات خاصة تكسبه القدرة على نفاذ أكبر قدر من الأشعة تحت الحمراء، وأقل قدر (١٤٪-١٦٪) من الضوء المنظور، والذى يفيد فى زيادة تدفئة التربة. تستعمل هذه الأغطية – خاصة – فى الزراعات المبكرة فى الربيع التى يفيدها تدفئة التربة، إلا أنها أكثر تكلفة (Rangarajan ٢٠٠٨).

وبصفة عامة ,, فإن درجة الحرارة ترتفع تحت كل من البلاستيك الشفاف والبلاستيك الأسود، وخاصة تحت البلاستيك الشفاف الذى تتحول الأشعة النافذة خلاله إلى حرارة، إلا أن درجة الحرارة الصغرى تكون متشابهة تحت كُل من البلاستيك الشفاف والأسود.

ويكون تأثير البلاستيك على درجة حرارة التربة واضحًا فى بداية مراحل النمو، إلى أن ينمو المجموع الخضرى ويغطى البلاستيك.

ويفضل استعمال البلاستيك الأسود فى الجو المعتدل الحرارة. أما عند الزراعة فى الجو المائل إلى البرودة، فيفضل البلاستيك الشفاف.

ولقد وجد Harris (١٩٦٥) – فى دراسة على الفاصوليا – أن غطاء البوليثيلين

الأسود أدى إلى ارتفاع درجة الحرارة الصغرى، وانخفاض درجة الحرارة العظمى فى الربيع (حينما تكون الحرارة منخفضة نسبيًّا)، ولكنه أدى إلى ارتفاع كل من درجة الحرارة الدنيا، ودرجة الحرارة العظمى خلال الصيف (حينما تكون الحرارة مرتفعة بصفة عامة).

وفى دراسة على القاوون (Schales & Sheldrake ١٩٦٦) قورن تأثير أنواع مختلفة من أغطية التربة على درجة الحرارة على عمق ٢,٥ سم من سطح التربة، وكانت النتائج كما فى جدول (١٥–٣).

جدول (١٥–٣): تأثير أنواع مختلفة من أغطية التربة على درجة الحرارة على عمق ٢,٥ سم من سطح التربة.

الغطاء	التغير فى درجة الحرارة (مْ)
بلاستيك شفاف + غطاء بترولى رشًّا	+(٥,٥)
بلاستيك أسود	+(٢,٧–١,٦)
بلاستيك شفاف	لا تغير فى درجة الحرارة
قش	–(٥,٥–٤,٤)
بيت موس سُمْكُه ٥ سم	–(٥,٥–٤,٤)

وفى تجربة على الخيار، كانت درجات الحرارة الدنيا والعظمى للتربة العادية والمغطاة بالبلاستيك الأسود فى العروة الخريفية بالمنطقة الوسطى من العراق كما فى جدول (١٥–٤)، أما فى العروة الربيعية، فقد قورنت التربة العادية بالتربة المغطاة بالبلاستيك الشفاف أو الأسود، وكانت درجات الحرارة الدنيا والعظمى كما فى جدول (٥–٥) (عن على ١٩٧٧).

كما أوضحت الدراسات التى أجريت فى أريزونا صيفًا تحت ظروف الجو الحار أن الفلفل استجاب لاستعمال أغطية التربة، سواء منها البوليثيلين الأسود، أم البوليثيلين المغطى بالألومنيوم Aluminum-coated polyethylene بزيادة النمو الخضرى والنمو الجذرى وأعداد الثمار، لكن النمو الخضرى كان أفضل — فى حالة

استعمال غطاء الألومنيوم – عما هو فى حالة استعمال الغطاء الأسود. هذا .. وقد كان النمو الجذرى سطحيًّا وليفيًّا كثيفًا تحت الغطاء، عما هو فى معاملة المقارنة بدون غطاء.

جدول (١٥–٤): تأثير الغطاء البلاستيكى الأسود للتربة على درجة حرارة التربة فى ظروف الحرارة المرتفعة (العروة الخريفية بالمنطقة الوسطى من العراق)

	درجة حرارة التربة العادية (م°)		درجة حرارة التربة المغطاة بالبلاستيك الأسود (م°)	
التاريخ	الصغرى	العظمى	الصغرى	العظمى
٧/٢٣ – ٧ / ١٧	٢٦,٧	٣٠,٨	٢٧,٥	٣٥,٩
٩/٣ – ٨/٢٨	٢٥,٢	٢٩,٩	٢٧	٣١,٩
١٠/١ – ٩/٢٥	٢٢,٠	٢٢,٣	٢٣,٦	٢٧,٨
١١/٥ – ١٠/٣٠	١٣,٦	١٥,٢	١٥,٠	١٧,٩
١١/٢١ – ١١/٢٠	١١,٣	١٣,٢	١٢,٣	١٥,٧

جدول (١٥–٥): تأثير الغطاء البلاستيكى الشفاف والأسود على درجة حرارة التربة (°م).

	التربة غير المغطاة		الحرارة تحت البوليثيلين الأسود		الحرارة تحت البوليثيلين الشفاف	
التاريخ	الصغرى	العظمى	الصغرى	العظمى	الصغرى	العظمى
٣/١١ – ٣/٥	١٢,٨	١٤,٩	١٧,٤	١٩,٦	١٧,٨	٢١,٢
٤/١ – ٣/٢٦	١٧,٥	٢٠,٧	١٧,٣	٢٣,٥	٢١,٠	٢٦,٠
٥/٦ – ٤/٣٠	١٩,٦	٢٣,٩	٢٤,٤	٣٠,١	٢٣,٧	٢٩,٩
٦/٣ – ٥/٢٨	٢٤,٦	٢٩,٠	٢٩,٠	٣٤,٩	٢٤,٧	٢٩,٠
٦/٢٤ – ٦/١٨	٢٤,٧	٢٧,٢	٢٧,٤	٣٣,٥	٢٥,٤	٢٨,٧

وقد بدا واضحًا أن غطاء البوليثيلين بالألومنيوم كان أفضل من البوليثيلين الأسود تحت ظروف الجو الحار. ومن المعتقد أن ذلك كان راجعًا إلى تخفيض غطاء الألومنيوم لدرجات الحرارة الشديدة، وإعادة تشتيته للضوء حول النمو الخضر للنباتات (Al-Masoum ١٩٨٢).

كذلك أوضحت دراسات Schalk & Robbins (١٩٨٧) فى ولاية كارولينا الجنوبية أن الأغطية الألومنيومية تخفض درجة حرارة التربة، وتقلل الأثر الضار للحرارة العالية على نباتات الطماطم الصغيرة بعد الشتل؛ مما يزيد من معدل نجاح الشتل. كذلك ازداد محصول الطماطم فى جميع معاملات أغطية التربة أيًّا كان لون الغطاء المستخدم: أسود، أم ألومنيومى، أم ألومنيوم على بلاستيك أسود، مع إزالة طبقة الألومنيوم بعد نحو شهر ونصف الشهر من الشتل الذى كان فى بداية فصل الخريف فى ٢٢ من سبتمبر.

كما تبين من دراسات Ham وآخرين (١٩٩٣) – عن تأثيرات عدة ألوان من الأغطية البلاستيكية للتربة فى درجة الحرارة – ما يلى:

١- تساوت درجة حرارة الهواء – فى منتصف النهار – على ارتفاع ٥ سم من الغطاء البلاستيكى فى جميع ألوان الأغطية.

٢- كانت درجة حرارة التربة فى منتصف النهار – على عمق ١٠ سم من سطح التربة – أعلى ما يمكن تحت معاملة البلاستيك الأسود.

٣- أرجع ارتفاد درجة حرارة التربة تحت البلاستيك – جزئيًّا – إلى انتقال الحرارة بالتوصيل من البلاستيك إلى التربة.

وجد أن الوحدات الحرارية المتراكمة حول نباتات البطيخ كانت أعلى جوهريًّا فى حالة استعمال الغطاء البلاستيكى الأبيض للتربة عما كان عليه الحال مع استخدام البلاستيك الأسود، إلا أن العكس كان صحيحًا بالنسبة لقياسات تراكم الوحدات الحرارية فى التربة السطحية وحتى عمق ١٠ سم، وذلك طوال موسم النمو المحصولى (Schmidt & Worthington ١٩٩٨).

وكانت متوسطات الحرارة اليومية لمنطقة نمو جذور الطماطم على امتداد موسم النمو أعلى تحت الأغطية البلاستيكية بمقدار ١-٥ °م عن حرارة الهواء، وكانت أعلى حرارة لمنطقة نمو الجذور وسط النهار تحت البلاستيك الأسود، وأقلها فى التربة غير المغطاة، وتلك التى استعمل معها بلاستيك أبيض. وحدث أكبر تغير

يومى فى حرارة منطقة نمو الجذور فى التربة غير المغطاة. وكانت حرارة منطقة نمو الجذور تحت البلاستيك الأسود والرمادى تزيد بمقدار ٤ °م مقارنة بالحرارة تحت الأغطية البلاستيكية الأخرى والتربة غير المغطاة. وقد ارتبطت درجة تدفئة التربة بمدى انعكاس الضوء من على الغطاء البلاستيكى. كان أقل انعكاس (١٠٪ من الأشعة النشطة فى البناء الضوئى) من على البلاستيك الأسود، وأعلى انعكاس (٢٥٪) من على البلاستيك الفضى. وقد أثرت حرارة منطقة نمو الجذور على الوزن الطازج للنموات الخضرية، ومحصول الثمار ، وعدد الثمار، ومتوسط وزن الثمرة، ووصلت تلك القياسات إلى أعلى معدلاتها عندما تراوحت حرارة نمو الجذور بين ٢٥,٤، و ٢٦,٣ °م (Diáz-Pérez & Batal ٢٠٠٢).

وكان متوسط حرارة منطقة نمو الجذور (مع البروكولى) وتراكم الدرجات الحرارية اليومية أعلى ما يمكن تحت الأغطية البلاستيكية القاتمة اللون (الزرقاء والسوداء والحمراء والرمادية)، وأقل ما يمكن تحت الأغطية الفاتحة اللون (الفضية والبيضاء)، بينما كان متوسط الحرارة الدنيا الأعلى تحت البلاستيك الفضى والأدنى تحت البلاستيك الأبيض. وأظهر الغطاء البلاستيكى الفضى أقل تباين يومى فى حرارة منطقة نمو الجذور، حيث أعطى أعلى حرارة فى منطقة نمو الجذور خلال الليل وكان من بين من أعطى أقل حرارة بعد الظهر (Diáz-Pérez ٢٠٠٩).

ووُجد لدى مقارنة تأثير ألوان مختلفة من الأغشية البلاستيكية للتربة على درجة الحرارة فى منطقة نمو الجذور (لنباتات الطماطم) أن المتوسط الحرارى لموسم النمو بلغ ٢٧,٥ °م تحت الغطاء البلاستيكى الأسود، و ٢٧ °م تحت الرمادى، و ٢٥,٨ °م تحت الفضى، و ٢٤,٨ °م تحت الأبيض (Diáz-Pérez وآخرون ٢٠٠٧).

تأثير لون الغطاء على النمو النباتى والمحصول

فى دراسة قورنت فيها تأثير عدة ألوان من الأغطية البلاستيكية للتربة على الطماطم وجد Decoteau وآخرون (١٩٨٨، و ١٩٨٩) أن استعمال الغطاء الأحمر أعطى أعلى

محصول مبكر وأعلى محصول من الثمار الصالحة للتسويق، وجاء بعده مباشرة استعمال البلاستيك الأسود، وكان المحصول الناتج من أى من المعاملتين أعلى بكثير مما فى حالة استعمال البلاستيك الأبيض أو البلاستيك الفضى اللون.

كذلك أثر لون الغطاء البلاستيكى على درجة حرارة التربة؛ حيث ارتفعت تحت البلاستيك ذى الألوان القاتمة، بينما أدى استعمال الأغطية الفاتحة اللون إلى زيادة شدة الإضاءة حول النباتات نتيجة انعكاس الضوء منها، لكن مع انخفاض فى نسبة الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة الحمراء؛ مقارنة بالضوء المنعكس فى حالة البلاستيك الأحمر أو الأسود.

وقد حصل الباحثون (Decoteau وآخرون ١٩٩٠) على نتائج متشابهة مع الفلفل فى دراسة قورن فيها تأثير البلاستيك الأحمر، والأسود، والأصفر، والأبيض على النمو النباتى، وشدة الضوء المنعكس من الغطاء ونوعيته.

وفى دراسة أجريت فى ولاية ألاباما الأمريكية قارن Brown وآخرون (١٩٩٢) استعمال ستة ألوان من الأغطية البلاستيكية للتربة مع البلاستيك الشفاف وترك التربة بدون غطاء، وحصلوا على أعلى محصول مبكر صالح للتسويق من الطماطم عند استعمال البلاستيك الألومنيومى، أو الأحمر، أو الأسود، بينما حصلوا على أعلى محصول كلى عند استعمال البلاستيك الأخضر أو الألومنيومى.

ويستدل من الدراسات – التى استعملت فيها أغطية بلاستيكية للرتبة بألوان مختلفة – على أن الأغطية التى تعمل على انعكاس نسبة من الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة الحمراء (R:FR) أعلى من النسبة الموجودة فى ضوء الشمس – الذى يصل إلى النباتات – تؤدى إلى زيادة النمو القمى للنباتات، وزيادة نسبة النمو القمى إلى النمو الجذرى، فى حين أن الأغطية – التى تعمل على انعكاس نسبة من الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة الحمراء أقل من النسبة الموجودة فى ضوء الشمس الذى يصل إلى النباتات – تؤدى إلى زيادة النمو الجذرى ونقص النمو القمى إلى النمو الجذرى للنباتات (Kasperbauer ١٩٩٢).

كما وجد أن أعلى امتصاص للأشعة الضوئية من الموجات النشطة فى عملية البناء الضوئى (من ٤٠٠–٧٠٠ نانوميتر nm) كان بواسطة الأغطية البلاستيكية السوداء اللون. وفى المقابل كان أعلى انعكاس لهذه الأشعة – وكذلك الأشعة الزرقاء (من ٤٠٠–٥٠٠ نانوميتر) – بواسطة الأغطية البلاستيكية البيضاء، وأقل انعكاس لها بواسطة الأغطية السوداء.

أما أعلى انعكاس للأشعة الحمراء ذات الموجات الطويلة والأشعة تحت الحمراء (٧٣٠–٧٤٠/٦٤٠–٦٥٠ نانوميتر) فكان بواسطة كل من الأغطية الفضية والحمراء (من أعلى) مع Alor (من أسفل).

وكانت أعلى نفاذية للأشعة من الموجات النشطة – فى عملية البناء الضوئى والأشعة الزرقاء – من خلال الأغطية البلاستيكية الشفافة.

وكانت أعلى درجة حرارة للتربة تحت كل من الأغطية السوداء، والأغطية الحمراء (من أعلى) مع Alor (من أسفل)، بينما كانت أقل حرارة للتربة تحت الأغطية البيضاء، وهى التى أعطت كذلك أقوى نمو نباتى وأعلى محصول (Hatt وآخرون ١٩٩٤).

يتميز الضوء المنعكس من الغطاء البلاستيكى الأحمر للتربة بانخفاض نسبة الأشعة الحمراء إلى الأشعة تحت الحمراء به مقارنة بالنسبة فى ضوء الشمس الطبيعى، بينما لا يؤثر الغطاء البلاستيكى الأسود كثيرًا على تلك النسبة. هذا .. وتؤدى النسبة المنخفضة للأشعة الحمراء إلى تحت الحمراء إلى تحفيز حركة المواد الكربوهيدراتية إلى ثمار الطماطم النامية؛ مما يؤدى إلى التبكير فى الإنتاج. كذلك فإن كثيرًا من الأغطية البلاستيكية الملونة – بما فى ذلك الأغطية الحمراء – تتميز بالشفافية translucent؛ بما يؤدى إلى ارتفاع حرارة التربة خلال فترة الربيع المبكر. مما يؤدى إلى تحفيز النمو النباتى والتبكير فى الإزهار ونضج الثمار.

وجد أن الغطاء البلاستيكى الأحمر الذى يتحلل بالضوء – والذى وضع تحته بلاستيك أسود – أدى إلى زيادة محصول ثمار الطماطم طالما كان سليمًا، لكن المحصول

انخفض ليماثل محصول معاملة الكنترول التى استعمل فيها البلاستيك الأسود – منفردًا – بعد تحلل البلاستيك الأحمر. أما الغطاء البلاستيكى الأحمر الذى لا يتحلل فإنه أعطى محصولاً أعلى. وقد ازداد المحصول المبكر سواء وضع البلاستيك الأحمر منفردًا فوق التربة، أم فوق غطاء من البلاستيك الأسود. وقد استنتج أن الزيادة فى محصول الطماطم عندما استعمل البلاستيك الأحمر كان مرده إلى إعكاس الغشاء للأشعة تحت الحمراء نحو النباتات، وتأثير ذلك على تنظيم البناء الضوئى عبر تأثير الأشعة على القيتوكروم (Kasperbauer & Hunt ١٩٩٨).

كما وجد عند مقارنة استعمال البلاستيك الأحمر والأسود كغطاءين للتربة عند إنتاج الفراولة أن محصول النبات وحجم الثمرة كانا أعلى عند استعمال البلاستيك الأحمر مقارنة بالبلاستيك الأسود. ويرجح أن مرد ذلك كان للأشعة الحمراء وتحت الحمراء التى عكسها البلاستيك الأحمر، والتى أثرت فى توزيع الغذاء المجهز الذى ينظمه صبغة الفيتوكروم، حيث اتجهت نسبة عالية منه للثمار (Kasperbauer ٢٠٠٠).

وبالمقارنة .. أنتجت نباتات الفلفل أكبر عدد من الجذور الجانبية عندما استخدم غطاء بلاستيكى فضى للتربة، وكان العدد متوسطًا فى معاملة الكنترول غير المغطاة بالبلاستيك ومعاملة الغطاء البلاستيكى الأسود، وأقل ما يمكن عندما استخدم غطاء بلاستيكى أحمر. وقد أثر الغطاء البلاستيكى للتربة على العدد الكلى للجذور العرضية والجانبية، لكنه لم يؤثر فى بناء المجموع الجذرى (Gough ٢٠٠١).

صلاحية لون الغطاء البلاستيكى لمختلف الأغراض ولمختلف المحاصيل

يمكن القول إجمالاً أن البلاستيك الفضى طارد للمنّ، والبلاستيك الأزرق جاذب للتربس، والبلاستيك الأصفر جاذب للحشرات.

وعند اختيار لون الغطاء المناسب لمختلف محاصيل الخضر، يراعى ما يلى (Orzolek & Lamont ٢٠٠٣):

المحصول	اللون المناسب للغطاء	ملاحظات
الطماطم	الأحمر	يعطى اللون الأحمر ١٢٪ زيادة فى المحصول مقارنة بالأسود – تنخفض شدة اللإصابة بالندوة المبكرة، ولا يكون البلاستيك الأحمر مؤثرًا فى الظروف البيئية المثالية
الفلفل	الفضى	يُعطى اللون الفضى زيادة ٢٠٪ فى المحصول وحجم الثمار مقارنة بالأسود
الباذنجان	الأحمر	يُعطى اللون الأحمر ١٢٪ زيادة فى المحصول مقارنة بالأسود، خاصة فى ظروف الشدّ الحرارى والرطوبى
الكنتالوب	المنفذ للأشعة تحت الحمراء (IRT) والأزرق القاتم	يزيد المحصول بنسبة ٣٥٪ مقارنة باستعمال البلاستيك الأسود
الخيار	الأزرق القاتم	يُعطى اللون الأزرق القاتم ٣٠٪ زيادة فى المحصول مقارنة بالأسود
الكوسة	الأزرق القاتم	يُعطى اللون الأزرق القاتم ٢٠٪ زيادة فى المحصول مقارنة بالأسود

تأثيرات الغطاء البلاستيكى على الإصابات الفيروسية والحشرية والأكاروسية

تلعب الأغطية البلاستيكية للتربة دورًا فعالاً فى خفض معدلات الإصابات الحشرية، وبذا .. فهى تخفض كذلك معدلات الإصابة بالفيروسات التى تنقلها تلك الحشرات إلى النباتات. ويحدث هذا التأثير إما من خلال إرباك الغطاء للحشرة بسبب ما يعكسه من ضوء، وإما بسبب جذب الغطاء للحشرة — بسبب لونه المميز لها — ثم موتها بفعل ملامستها للغطاء الساخن.

فقد وجد Smith وآخرون (١٩٦٤) أن وجود شرائح ألومونيومية عاكسة للضوء بين خطوط الجلاديولس، ونبات الـ *Veronia anthelmintica* قلل أعداد حشرة المنّ التى تم اصطيادها — فى أوعية صفراء تحتوى على ماء — بمقدار ٩٦٪، و ٩٨٪ فى النوعين النباتيين، على التوالى. وقد صاحب ذلك انخفاض معدل الإصابة بفيرس موزايك الخيار — فى الجلاديولس

– بنسبة ٦٧٪، بينما لم تحدث أية إصابة بالفيرس فى *V. anthelmintica*. كما كان لمعاملة رش مسحوق ألومونيومى نفس فاعلية استعمال شرائح الألومونيوم.

وقد كانت معاملة الألومونيوم فعّالة كمنفّرة وطاردة لما لا يقل عن ١٢ نوعًا من المنّ؛ منها عدة أنواع تعرف بكثرة نقلها للفيروسات، مثل منّ الخوخ، ومنّ البطاطس.

ومما يزيد من أهمية الأغطية البلاستيكية العاكسة للضوء – فى خفض معدلات الإصابة بالفيروسات التى ينقلها المنّ – أن مكافحة المنّ الناقل للفيروسات بالمبيدات نادرًا ما يمنع الإصابة بالفيروسات غير المتبقية nonpersistent (التى تكتسبها الحشرة بمجرد التغذية على نبات مصاب بالفيرس، وتكون قادرة على نقله إلى نبات سليم على التو وبمجرد تغذيتها عليه)؛ لأنها تنتقل إلى النباتات السليمة قبل موت الحشرة الناقلة لها. هذا .. إلا أن استعمال أغطية التربة العاكسة للضوء أفاد – فى حالات كثيرة – فى خفض معدلات الإصابة بتلك الفيروسات.

ويستدل من دراسات Wyman وآخرين (١٩٧٩) أن أعداد حشرة المنّ المجنح المهاجر إلى حقول الكوسة انخفضت بنسبة ٩٦٪، و ٦٨٪ عند استعمال أغطية بلاستيكية – للتربة – ألومونيومية وبيضاء اللون على التوالى. وقد شكل منّ الخوخ الأخضر نحو ٩٢٪ من أعداد المنّ التى تم اصطيادها، والتى كانت من ١٦ نوعًا.

وبينما بلغت نسبة الإصابة بفيرس موزايك البطيخ (وهو الفيرس الوحيد الذى وجد بالحقل) نحو ٩٠٪ فى معاملة الشاهد، فإن الإصابة انخفضت بنسبة ٩٤٪، و ٧٧٪ فى معاملتى أغطية التربة على التوالى. وقد صاحب ذلك زيادة فى المحصول بلغت حوالى ٤٣٪، وكانت الزيادة أكبر فى المحصول المبكر؛ حيث بلغت ٨٥٪، و ٦٩٪ فى معاملتى أغطية التربة على التوالى.

وقد وجد Schalk & Robbins (١٩٨٧) أن استعمال الأغطية البلاستيكية الألومونيومية للتربة فى حقول الطماطم كان طاردًا لحشرة المنّ، ولكنه أدى إلى زيادة الإصابة بحشرتى دودة ثمار الطماطم (*Helicoverpa zea*) والـ tomato pinworm (*Keiferia lycopersicella*).

وقد أوضحت دراسات Greenough وآخرين (١٩٩٠) أن استعمال تلك الشرائح البلاستيكية ذات السطح الألومنيومى مع محصولى الطماطم والفلفل أدى إلى تخفيض أعداد حشرة التربس التى أمكن اصطيادها بنسبة ٦٨٪ فى الطماطم، و ٦٠٪ فى الفلفل، وصاحب ذلك نقص فى نسبة الإصابة بفيرس ذبول الطماطم المتبقع – الذى ينقله التربس – بنسبة ٦٤٪ فى الطماطم، و ٧٨٪ فى الفلفل.

هذا .. وقد تبين من دراسات Lamont وآخرين (١٩٩٠) أن طلاء شريط ألومنيومى على سطح الأغطية البلاستيكية السوداء أو استعمال أغطية عاكسة للضوء – بيضاء أو ألومنيومية – ادى (فى ولاية كارولينا الشمالية) إلى تأخير ظهور أعراض الإصابة بفيرس تبرقش البطيخ رقم ٢ فى الكوسة الذى ينقله المنّ، ولكنه لم يمنع الإصابة أو انتشارها، وخاصة فى نهاية موسم النمو.

وفى ولاية ألاباما الأمريكية وجد Brown & Brown (١٩٩٢) أن حشرة التربس كانت أكثر تواجدًا على نباتات الطماطم التى استعمل فى إنتاجها غطاء بلاستيكى أبيض للتربة، مقارنة باستعمال غطاء بلاستيكى أسود، أو بلاستيكى بلون الألومونيوم، أو البلاستيك الأزرق. كما وجدت أقل أعداد التربس عندما استعمل البلاستيك الألومنيومى، وأقل أعداد الذبابة البيضاء عندما استعمل البلاستيك الأصفر. وكان نقص أعداد الذبابة البيضاء عندما استعمل البلاستيك الأصفر مصاحبًا بتأخير فى ظهور أعراض الإصابة بفيرس تبرقش الطماطم tomato mottle virus – الذى تنقله الذبابة البيضاء.

وقد انخفضت شدة الإصابات الفيروسية فى حقول الكوسة – فى ولاية أوكلاهوما الأمريكية – عند استعمال أى من أغطية التربة البلاستيكية البيضاء، أو الألومنيومية العاكسة للضوء، أو السوداء المطلية بالألومنيوم، وكانت أكثرها فاعلية فى زيادة المحصول وخفض الإصابة الفيروسية الأغطية الألومنيومية العاكسة للضوء (Conway وآخرون ١٩٨٩).

كما درس Brown وآخرون (١٩٩٣) تأثير عدة ألوان من أغطية التربة البلاستيكية

فى حقول الكوسة على أعداد حشرة المنّ، ومدى انتشار الإصابة بفيروسات موزايك البطيخ رقمى ١ و ٢، وموزايك الزوكينى الأصفر، وموزايك الكوسة. أوضحت الدراسة أن البلاستيك الفضى اللون أعطى محصولاً قليلاً للتسويق أعلى من الكنترول (بدون غطاء بلاستيكى للتربة). وكانت الألوان الأخرى المستخدمة (الأبيض، والأصفر، والأسود بحافة صفراء) متوسطة فى تأثيرها على أعداد المنّ والإصابات الفيروسية. وقد أدى استعمال الغطاء البلاستيكى الفضى منفردًا – بدون استعمال المبيدات الحشرية – إلى تأخير بداية ظهور مختلف الإصابات الفيروسية بنحو ١٠–١٣ يومًا.

كلك وجد أن الأغطية ذات السطح الألومنيومى تقلل من شدة الإصابة بالتربس (*Frankliniella* sp.)، ولكن هذا التأثير اضمحل تدريجيًّا مع اختفاء الغطاء البلاستيكى تحت النمو الخضرى للطماطم (عن Csizinszky وآخرين ١٩٩٥).

ويستدل من دراسات Csizinszky وآخرين (١٩٩٥) – التى استعملوا فيها أغطية بلاستيكية زرقاء، وبرتقالية، وحمراء، وألومنيومية، وصفراء، وبيضاء – على أن أعداد حشرة المنّ التى تم اصطيادها من على نباتات الطماطم كانت أقل ما يمكن عندما استعمل البلاستيك الألومنيومى والأصفر، وكانت أعلى ما يمكن عندما استعمل البلاستيك الأزرق. كما وجدت أقل أعداد التربس عندما استعمل البلاستيك الألومنيومى، وأقل أعداد الذبابة البيضاء عندما استعمل البلاستيك الأصفر. وكان نقص أعداد الذبابة البيضاء عندما استعمل البلاستيك الأصفر مصاحبًا بتأخير فى ظهور أعراض الإصابة بفيرس تبرقش الطماطم tomato mottle virus – الذى تنقله الذبابة البيضاء – وزيادة المحصول.

كما وجد أن الأغطية البلاستيكية الصفراء – وبدرجة أقل الأغطية البرتقالية اللون – تجذب إليها حشرة منّ الخوخ *Myzus persicae* (عن Csizinszky وآخرين ١٩٩٥).

ووجد أن أعداد حشرة خنفساء الخيار على نباتات صنفين من البطيخ كانت أعلى فى حالة استعمال غطاء بلاستيكى أحمر عاكس للضوء أو غطاء بلاستيكى أصفر للتربة عما كان

عليه الحال عندما استخدم غطاء بلاستيكى فضى عاكس منفردًا أو على غطاء أسود (Andino & Motsenbocker ٢٠٠٤).

وبذا .. يستدل – من عديد من الدراسات – أن أغطية التربة العاكسة للضوء (ذات السطح الألومنيومى Aluminum-Surfaced Film Mulch) تخفض الأعداد المجنحة لحشرة المنّ التى تحط على النباتات التى تنمو فوق تلك الأغطية؛ الأمر الذى يقلل من الإصابة ببعض الأمراض الفيروسية التى ينقلها المنّ، وكذلك الإصابة بحشرات المنّ، والتربس، وصانعات الأنفاق بالأوراق Leaf Miners فى مختلف الخضروات.

كما يفيد استخدام البلاستيك الأصفر – فى حالة الطماطم – فى خفض معدلات الإصابة المبكرة بفيرس تجعد واصفرار أوراق الطماطم؛ لأنه يجذب إليه حشرة الذبابة البيضاء الناقلة للفيرس؛ مما يؤدى إلى موتها بفعل ملامستها للبلاستيك الساخن (عن Cohen & Melamed-Madjar ١٩٧٨).

وقد وجد أن استعمال الأغطية البلاستيكية الصفراء للتربة مع الرش اليومى لنباتات الطماطم بمبيد Smash أدى إلى خفض الإصابة بالفيرس فى صنف الطماطم TY20 إلى ٢,٢٪ (فى وادى الأردن الذى تكون الإصابة فيه بالفيرس عالية للغاية فى العروة الخريفية)، مقارنة بنحو ٤٥٪ باستعمال بلاستيك شفاف مع الرش أسبوعيًّا بالمبيد (عن Zamir وآخرين ١٩٩١).

ومن المتوقع – كذلك – أن يكون للأغطية الصفراء تأثير مماثل على الفيروسات الأخرى التى تنقلها الذبابة البيضاء إلى القرعيات؛ مثل تجعد أوراق الكوسة، ومختلف الفيروسات التى تحدث اصفرارًا بين العروق فى الأوراق المسنة لمختلف القرعيات، وخاصة الخيار والقاوون (Hassan وآخرون ١٩٩٠، و ١٩٩١).

تأثير الغطاء البلاستيكى على رطوبة التربة

برغم أن البلاستيك يقلل من فقد الماء بالتبخر من سطح التربة، إلا أنه يزيد – فى نفس الوقت – من استهلاك الرطوبة بتشجيع النمو الخضرى الغزير؛ وبذلك نجد فى

الأراضى الخفيفة أن النباتات تستفيد من الرى – فى وجود الغطاء البلاستيكى – أكثر مما لو كانت التربة بدون غطاء.

تأثير الغطاء البلاستيكى على طبيعة التربة

يؤدى استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة إلى بقاء التربة فى حالة مفككة وجيدة التهوية، وحمايتها من تأثير قطرات المطر؛ فيقلل من فرصة التعرية، إلا أنه عند ارتفاع منسوب الماء الأرضى، فإن الغطاء البلاستيكى قد يضر؛ وذلك بسبب زيادة الرطوبة إلى درجة تؤدى إلى نقص التهوية عن الحد الأدنى الضرورى.

تأثير الغطاء البلاستيكى على تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى بيئة النبات

لاحظ عديد من الباحثين زيادة ملحوظة فى إنتاجية محاصيل الخضر عند استعمال الأغطية البلاستيكية للتربة؛ فمثلاً .. تصل الزيادة فى محصول الباذنجان إلى ٣٠٠٪. وقد أرجعت تلك الزيادة إلى عدة عوامل، كان منها تأثير الغطاء البلاستيكى على تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى بيئة النبات.

نجد أن مستوى غاز ثانى أكسيد الكربون يتباين كثيرًا فى التربة؛ حيث يتراوح – فى الظروف الطبيعية – من ٠,٠٣٪ إلى ٢٥٪. وتحدث زيادة كبيرة فى تركيز الغاز عند استعمال الأغطية البلاستيكية. فمثلاً .. وصل تركيز الغاز عند فتحات الزراعة فى الغطاء البلاستيكى – فى إحدى الدراسات – إلى أربعة أمثال تركيزه فى الهواء الجوى. وفى دراسة أخرى كان تركيز الغاز ١٣,٣٪ على عمق ١٥ سم، و ١,٢٪ على عمق ٥ سم تحت الغطاء، مقارنة بتركيز ٢٪، و ٠,١٩٪ عند العمقين – على التوالى – بدون الغطاء.

ويرى بعض الباحثين أن الزيادة فى المحصول عند استعمال الغطاء البلاستيكى ربما ترجع إلى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون حول الجذور، وخاصة أن الجذور

يمكنها امتصاص الغاز. ومما يؤيد ذلك أن زيادة تركيز الغاز حول الجذور أدت إلى زيادة المادة الجافة في كل من البطاطس والموالح. كما وجد Baron & Gorski (١٩٨٦) أن زيادة تركيز الغاز حول جذور الباذنجان – تحت ظروف النهار الطويل والحرارة العالية – أدت إلى زيادة قطر ساق النبات ومساحته الورقية ومحتواه من المادة الجافة.

الأساس الفسيولوجى للزيادة فى المحصول الناشئة عن استعمال الأغطية البلاستيكية للتربة

من المعلوم أن الأشعة التى تنعكس من الغطاء يمكن أن تؤثر فى عديد من العمليات الحيوية بالنبات حسب الطول الموجى للأشعة المنبعثة. فالأشعة ذات الطول الموجى ٤٤٠–٤٩٥ نانوميتر تؤثر فى كل من الانتحاء الضوئى phototropism والبناء الضوئى، بينما يؤثر الضوء الأحمر ذات الطول الموجى ٦٢٥–٨٠٠ نانوميتر فى كل من البناء الضوئى وإنبات البذور والنمو الخضرى للبادرات والنباتات وتمثيل الأنثوسيانينين.

وتتوفر ألوان عديدة من الأغطية البلاستيكية للتربة، منها الأسود والأحمر والأصفر والأزرق والرمادى والبرتقالى والفضى والأبيض والشفاف، والتى يتميز كل لون منها بأن الأشعة الضوئية المنعكسة منه نحو النموات النباتية الهوائية تكون بطول موجى معين (شكل ١٥–٤؛ يوجد فى آخر الكتاب).

كذلك فإن لون الغطاء البلاستيكى لا يؤثر فقط على النمو النباتى، وإنما كذلك على استجابات الحشرات. فمثلاً تجذب الألوان الصفراء والحمراء والزرقاء إليها حشرة منّ الخوخ الأخضر، وخاصة اللون الأصفر، الذى يجذب إليه – كذلك – خنافس الخيار المخططة والمبقعة. ويمكن الاستفادة من تلك الخاصية فى عمل شريط من الأرض يغطى بالبلاستيك الأصفر كل عدة خطوط من المحصول تغطى باللون المناسب له؛ وذلك ليكون مصيدة للحشرات.

وتؤثر درجة نفاذية كل من تلك الألوان للضوء على كثافة نمو الحشائش تحتها (University of Connecticut، ٢٠٠٥، و Lamont ٢٠٠٥).

وبصورة عامة .. يمكن اعتبار الزيادة فى المحصول الناشئة عن استعمال الأغطية البلاستيكية للتربة محصلة للعوامل التالية:

١- يتم القضاء على الحشائش؛ فلا تُنافس المحصول (شكل ١٥-٥؛ يوجد فى آخر الكتاب).

٢- لا يحدث أى ضرر لجذور النباتات أو نمواتها الخضرية من جَرّاء العزيق؛ حيث لا تكون هناك حاجة إلى إجراء عملية العزيق.

٣- الارتفاع الذى يحدث فى درجة حرارة التربة يناسب بعض المحاصيل عندما تكون درجة حرارة الجو منخفضة نسبيًّا.

٤- كثير من المحاصيل التى تستجيب للبلاستيك الأسود ذات جذور سطحية، وتحتاج إلى مستوى مرتفع من الأكسجين فى التربة لكى تنمو وتعمل بكفاءة؛ فإذا حدث ضرر للجذور التى توجد فى الـ ٥-١٠ سم العلوية من التربة أثناء العزيق، فإن الجذور التى تنمو على عمق أكبر من ذلك لن تكون بنفس الكفاءة؛ وذلك بسبب نقص الأكسجين فى الطبقات السفلى من التربة من جهة، وبسبب انخفاض درجة الحرارة من جهة أخرى. كما أن كثيرًا من هذه الجذور — تحت الظروف الطبيعية — توجد فى الطبقة السطحية من التربة؛ ومن ثم تتأثر النباتات بحالات الجفاف — بشدة — بسبب التبخر السطحى، بالإضافة إلى أن قطرات ماء المطر أو ماء الرى بالرش تؤدى إلى اندماج التربة؛ مما يقلل من نفاذ الأكسجين إلى الجذور.

من ذلك نرى أن الغطاء البلاستيكى يعمل على تشجيع نمو الجذور فى الطبقات السطحية من التربة؛ حيث تتوفر الرطوبة، والأكسجين، والحرارة المناسبة، والعناصر الغذائية؛ وحيث تنشط عملية التأزت (Carolus ١٩٧٠).

٥- خفض معدلات الإصابة الحشرية والفيروسية كما أسلفنا.

٦- تحفيز النمو النباتى الجذرى والخضرى، وزيادة امتصاص العناصر:

وجد أن استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة يحدث زيادة كبيرة فى محصول الطماطم ونموها الخضرى. وتبين أن البوليثيلين الشفاف يحفز النمو الجذرى بعد فترة قصيرة من الشتل، كما يؤدى الغطاء إلى زيادة عدد الأفرع الخضرية، وتبكير الإزهار، وتركيز العناصر الغذائية فى النموات الخضرية.

وقد اُقْتُرح ان استعمال الغطاء البلاستيكى ربما يحفز النمو الخضرى بتدفئة ساق النبات بواسطة الهواء الدافئ الذى يتسرب من الفتحات التى توجد فى البلاستيك والتى تنمو من خلالها النباتات، إلا أن إغلاق تلك الفتحات لمنع تسرب الغاز منها لم يؤثر على درجة تفرع النموات الخضرية، بالرغم من أن درجة حرارة الهواء – بالقرب من سيقان النباتات – كانت أعلى عندما تركت الفتحات دون إغلاق.

ويستدل مما تقدم على أن الزيادة التى تحدث فى النمو الخضرى – عند استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة – ترجع إلى تحفيز النمو الجذرى وزيادة امتصاص النبات للعناصر (Wien وآخرون ١٩٩٣).

كما وُجد أن الزيادة فى محصول الطماطم عند استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة كانت مُصَاحَبة بزيادة فى محتوى النموات الخضرية من عنصر الفوسفور، ولكن الزيادة فى المحصول استمرت مع استعمال الغطاء، حتى حينما كان تركيز الفوسفور ٠,٤٪ بعد ثلاثة أسابيع من الشتل فى المعاملات التى لم يستعمل فيها الغطاء؛ مما يدل على أن للغطاء البلاستيكى تأثيرات أخرى إلى جانب تحسين امتصاص الفوسفور (Grubinger وآخرون ١٩٩٣).

تأثر الأغطية البلاستيكية للتربة بالظروف البيئية والمبيدات

وجد أن الأغطية البلاستيكية البيضاء العاكسة للضوء (على السوداء) تتأثر بشدة بالمبيدات ودرجة الحرارة والأشعة فوق البنفسجية فى المناطق الحارة، فالطبقة البيضاء يمكن أن تتحطم مبكرًا بفعل الرش بالمبيدات؛ مما يزيد من الفقد الرطوبى ونمو الحشائش، ويؤدى إلى نقص المحصول. ومن المهم التنبه إلى أن المبيدات النحاسية تُسرع من تحلل البلاستيك، كما تسرع المبيدات الزيتية من التحلل بإفقاد البلاستيك لمتانته، مما يزيد من حساسيته للتحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية، كما أن الجو الحار يزيد من حساسية الغشاء البلاستيكى للتفاعل بين المبيد الزيتى والأشعة فوق البنفسجية (Carnell ١٩٩٦).