

تغير المناخ: التأثير والتكيف الإنتاج الغذائي

أيمن ف. أبو حديد



١. مقدمة

التعرض والتأثر بالظروف المناخية، وبالقدرة على التكيف مع ظروف متغيرة.

ويمثل مجموع المساحة المزروعة في المنطقة العربية حالياً نحو 5% من مجموع المساحة المزروعة في العالم، وهذا يشكل نحو 5% من مجموع مساحة العالم العربي (FAO, 2008b). وتصنّف معظم الأراضي العربية كمناطق قاحلة جداً وقاحلة وشبه قاحلة (WRI, 2002). أما العلاقة بين المساحة المزروعة والسكان فهي من التحديات الأساسية التي تواجه الإنتاج الغذائي في المنطقة. وتراجع حصة الأرض للفرد الواحد سنوياً كنتيجة لمعدلات النمو السكاني السريعة وللتحضر (AOAD, 2008). ومع حلول العام 2007، كان معدل حصة الأراضي الزراعية في المنطقة العربية نحو 0,23 هكتار للفرد الواحد، وهو معدل أدنى بقليل من المعدل العالمي البالغ 0,24 هكتار للفرد الواحد.

أما النظام الزراعي السائد في البلدان العربية فهو الزراعة البعلية، حيث أن مجموع المساحة المروية في العالم العربي هو أقل من 28% (FAO, 2008b). وبالتالي، فإن الإنتاجية الزراعية السنوية والأمن الغذائي مرتبطان إلى حد كبير بالتقلبية السنوية للتساقطات، التي أظهرت تغيرات كبرى في العقود الأخيرة (Abou-Hadid, 2006). والزراعة المروية ممثلة بشكل واسع في بلدان شبه الجزيرة العربية ومصر، حيث تشكل الزراعة المروية بالكامل نسبة 100% من مجموع المساحة المزروعة في الأولى و95% في الثانية.

وأظهرت الإنتاجية الزراعية لمعظم المحاصيل ارتفاعات ملحوظة خلال السنوات الأخيرة. ويشير مؤشر الإنتاج الغذائي للفرد (PCFPI) إلى المخرَج الغذائي، باستثناء علف الحيوانات، لقطاع الزراعة في بلد ما، بالنسبة إلى الفترة الأساس 1999-2001 (FAO, 2008b). وقد تبين أن قيمة مؤشر الإنتاج الغذائي للفرد في المنطقة العربية ارتفعت من 99,8 في العام 2003 إلى 112,3 مع حلول العام 2005، وهي زيادة بنسبة 13%، بينما ارتفعت القيم العالمية للمؤشر خلال السنوات نفسها بنسبة 20% (AOAD, 2008). وقد تحسّنت إنتاجيات محاصيل الزراعة المروية في المنطقة العربية بفعل التحول إلى أصناف مستنبتة جديدة، وتطبيق تكنولوجيات حديثة وتحسين برامج الإدارة، فتم تحقيق بعض من أعلى الإنتاجيات عبر العالم في بعض البلدان العربية، مثل مصر والسودان. ومن جهة أخرى، تعاني معظم البلدان العربية مشاكل حادة في الإنتاج الزراعي نتيجة للموارد الاقتصادية المحدودة، والمستويات التكنولوجية المتدنية،

شهد الأمن الغذائي في العالم العربي تاريخاً طويلاً من الضغوط البيئية والاجتماعية والاقتصادية. وتشكّل ظروف الجفاف السائد والموارد المائية المحدودة وأنماط المحاصيل الشاذة والمستويات المتدنية للتكنولوجيا والمعرفة، العوامل الأساسية التي تؤثر حالياً على أنظمة الإنتاج الغذائي في العالم العربي.

وقد خلصت معظم عمليات التقييم الحديثة إلى أن المناطق القاحلة وشبه القاحلة حساسة إلى حد كبير في وجه التغير المناخي (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، IPCC 2007a). من جهة أخرى، وعلى مستوى مؤتمر رفيع المستوى لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (الفاو) عُقد في روما في حزيران (يونيو) 2008، أكد المندوبون على أن الزراعة لا تشكل نشاطاً بشرياً أساسياً معرضاً للتغير المناخي فحسب، بل هي عامل موجه أساسي للتغير البيئي والمناخي بحد ذاته. وتعتبر التغيرات المناخية المتوقعة من بين التحديات الأكثر أهمية للزراعة في القرن الحادي والعشرين، لا سيما بالنسبة إلى البلدان النامية والمناطق القاحلة (IPCC 2007a).

ومع نهاية القرن الحادي والعشرين، قد تواجه المنطقة العربية ارتفاعاً بدرجتين إلى 5,5 درجات مئوية في حرارة سطح الأرض. ويترافق هذا الارتفاع مع تراجع في التساقطات يصل إلى 20%. وسوف تؤدي هذه التغيرات المتوقعة إلى فصول شتاء أقصر، وفصول صيف أكثر جفافاً وأكثر حراً، وحدوث موجات حر بوتيرة أكبر، وتقلبية مناخية أكبر وحدوث ظواهر مناخية شديدة (IPCC 2007b).

٢. الآثار الأساسية وأوجه التأثير في قطاع الزراعة في العالم العربي

تنشأ المخاطر المتصلة بالزراعة والتغير المناخي عن روابط معقدة وقوية قائمة بين الزراعة والنظام المناخي، بالإضافة إلى اعتماد الزراعة إلى حد كبير على الموارد الطبيعية المحدودة (Abou-Hadid, 2009). كما أن التوزيع السنوي، والشهري واليومي للمتغيرات المناخية (مثلاً الحرارة، والأشعة، والتساقطات، وضغط البخار في الهواء، وسرعة الرياح) يؤثر على عدد من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي توجه إنتاجية أنظمة الزراعة والغابات ومصائد الأسماك (IPCC 2007a). وبالنسبة إلى أنظمة الغابات والمصائد، ترتبط درجة الحساسية بمستوى

على أساس المخاطر والحاجات والقدرات المحلية، كما الأسواق الدولية، والتعريفات، والدعم، والاتفاقات التجارية (Burton and Lim, 2005).

يعتبر التوازن المائي والظواهر المناخية الشديدة عاملين أساسيين للكثير من الآثار في الزراعة والغابات. فمعظم البلدان العربية تتسم بموارد مائية محدودة وبطلبات عالية على المياه. ويقدر مجموع الموارد المائية المتجددة السنوية في العالم العربي بحوالي 460 كيلومتراً مكعباً، أو ما يقارب 0,9% من موارد المياه المتجددة السنوية في العالم. فعلى أساس الموارد المائية السنوية للفرد الواحد، تواجه البلدان العربية كلها حالة حرجة من حيث الموارد المائية، باستثناء العراق الذي يتمتع بموارد مائية متجددة تفوق 2900م³ للفرد في السنة. ويواجه لبنان وسوريا في الوقت الحاضر أزمة ماء (1000 إلى 1700 م³ للفرد في السنة)، بينما تعاني سائر البلدان العربية شحاً في المياه (أقل من 1000 م³ للفرد في السنة) (AFED, 2008). ويستعمل قطاع الزراعة أكثر من 80% من مجموع الموارد المائية في العالم العربي. إلا أن فعالية استخدام المياه في قطاع الزراعة في معظم البلدان العربية منخفضة (Montazar et al., 2007).

وتتهدد وضع المياه في العالم العربي ضغوط بيئية الى جانب الضغوط الاجتماعية والاقتصادية. فقد أبرزت الدراسات الأخيرة آثاراً سلبية كثيرة للتغير المناخي على أنظمة المياه العذبة. وهذه الآثار عائدة بصورة أساسية إلى الارتفاعات المرصودة والمتوقعة في الحرارة والتبخّر ومستوى البحر والتقلبية في التساقطات (IPCC 2007a). وتتوقع أكثر من



وأنماط المحاصيل المحدودة، والقيود والضغوط البيئية (Agoumi, 2001).

وتتوقع الفاو (2005) أن تتراجع معدلات النمو في الإنتاج الغذائي العالمي من 2,2% في السنة خلال السنوات الثلاثين الماضية إلى 1,6% في السنة خلال الفترة الممتدة بين العام 2000 والعام 2015، و3,1% في السنة بين العامين 2015 و2030، و0,8% في السنة بين 2030 و2050. لكن هذا يعني زيادة بنسبة 55% في إنتاج المحصول العالمي مع حلول 2030 وزيادة بنسبة 80% حتى سنة 2050 (بالمقارنة بالفترة ما بين 1999 و2001). بصورة عامة، ولتسهيل هذا النمو في الانتاج، يجب إدخال 185 مليون هكتار من أراضي المحاصيل البعلية (+19%) و60 مليون هكتار من الأراضي الروية (+30%) إلى دائرة الإنتاج. ويشكل استخدام الأراضي الموسع واستعمال التكنولوجيا المحسن السببين الأساسيين في تحقيق الارتفاع المتوقع في المحاصيل. ويتوقع أن ترتفع محاصيل الحبوب في البلدان النامية من 2,7 طن/هكتار حالياً إلى 3,8 طن/هكتار في سنة 2050 (FAO, 2005). وسوف تترافق هذه التحسّات في ميزان العرض والطلب الشامل مع تراجع في عدد الأشخاص الذين يعانون نقصاً في التغذية من أكثر من 800 مليون حالياً إلى نحو 300 مليون، أو 4% من السكان في البلدان النامية، مع حلول سنة 2050 (FAO, 2005). وبالرغم من هذه التحسّات الإجمالية، تبقى مشاكل هامة في الأمن الغذائي قائمة على المستويين المحلي والوطني. فالمنطق التي تشهد معدلات نمو سكاني عالية وتردياً في الموارد الطبيعية سوف تستمر على الأرجح في مواجهة معدلات عالية من الفقر وانعدام الأمن الغذائي (Alexandratos, 2005). ويشدّد كاسمان ومعاونوه (2003) على أن التغيير المناخي سوف يزيد من التحديّ المزدوج المتمثل في الاستجابة إلى الطلب على الغذاء وفي الوقت نفسه الاستمرار في بذل الجهود لحماية الموارد الطبيعية وتحسين الجودة البيئية في هذه المناطق.

بفضل إصدار التوقعات المناخية الموسمية ونشرها، تحسّنت قدرة الكثير من مديري الموارد على استباق التقلبية المناخية والتخطيط لها (Harrison, 2005). إلا أن المشاكل المتصلة بالأمراض المعدية، والنزاعات والعوامل المجتمعية الأخرى، قد تخفّض القدرة على الاستجابة إلى التقلبية المناخية والتغيير على المستوى المحلي، مما يزيد من الضعف الحالي. كما أن السياسات والاستجابات التي تمّت على المستويين الوطني والدولي تؤثر أيضاً على التكيفات المحلية (Salinger et al., 2005). فالسياسات الزراعية الوطنية غالباً ما توضع

بفعل الارتفاع في قيم الاستهلاك المائي للنباتات (evapotranspiration)، ماسيودّي إلى ارتفاع عام في طلبات مياه المزرعات. في الشكل 1 نرى التغيير في مستلزمات المياه في مزرعات الحقول والخضار الأساسية بفعل التغيير في الحرارة ومستويات ثاني أكسيد الكربون، على أساس سيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ IPCC SRES A1 و B1 للسنوات 2025 و 2050 و 2100 (Medany 2008).

تستعمل صفة زراعة صغار الملاك هنا للإشارة إلى المنتجين الريفيين الذين يزرعون باستخدام اليد العاملة العائلية بصورة أساسية والذين تشكل المزرعة مصدر الدخل الأساسي لهم (Cornish, 1998). كما تشمل هذه الفئة أيضاً الرعاة والأشخاص المعتمدين على مصائد الأسماك الحرفية والمؤسسات العائلية لتربية المائيات (Allison and Ellis, 2001). وصغار الملاك في معظم البلدان العربية هم من الفقراء ويعانون بدرجات متفاوتة من مشاكل متصلة بإنتاج مواد الكفاف (موقع معزول وهامشي، حجم صغير للمزرعة، حيازة غير نظامية للأراضي ومستويات متدنية للتكنولوجيا)، وبانفتاح غير متساو ولا يمكن توقعه للأسواق العالمية، التي وصفت بأنها "معقدة ومنوعة ومعرضة للمخاطرة" (Chambers et al., 1989). كما أنّ المخاطر متنوعة أيضاً (جفاف وفيضان، أمراض المحاصيل

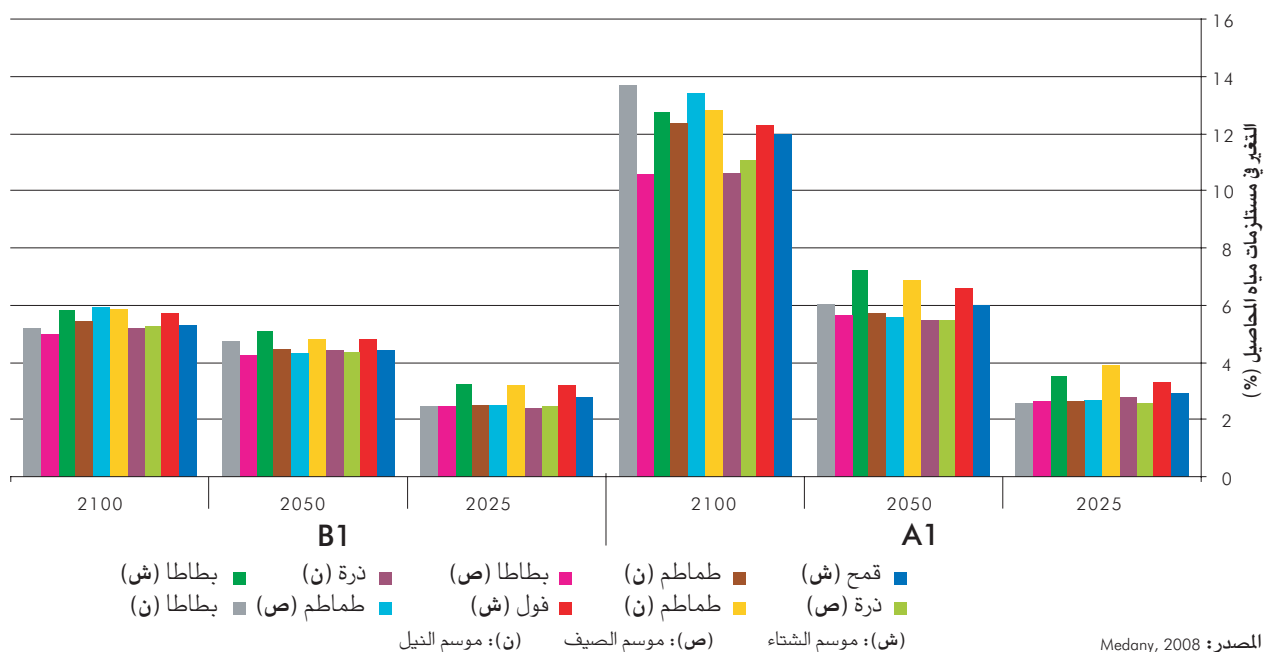
90% من نماذج المحاكاة المناخية تراجع في التساقطات مع نهاية القرن الحادي والعشرين لمنطقة شمال أفريقيا والشرق الأوسط (IPCC 2007b).

تعتبر التغييرات في المعدل الوسطي السنوي للجريان مؤشراً للمعدل الوسطي لتوفر المياه للنبات. وتشير التغييرات المتوقعة بين اليوم وسنة 2100 إلى أنماط جريان متجانسة: ارتفاعات في مناطق خطوط العرض العالية والمدارين الرطبين، وانخفاضات في مناطق خطوط العرض المتوسطة وبعض أنحاء المدارين الجافين. وبالتالي يمكن توقع تراجع في توافر المياه لتؤثر على بعض المناطق التي تناسب حالياً الزراعات البعلية (مثلاً في حوض البحر المتوسط ومناطق جنوب المدار) (Christensen et al., 2007).

سوف يؤدي التغيير المناخي إلى زيادة استخدام مياه الاستهلاك في قطاعات أساسية في المستقبل، لا سيما في البلدان التي لديها موارد مائية محدودة ونمو سكاني عالٍ ومعدلات تنمية عالية (Medany, 2007). ويشير ماغانو (2007) إلى أن طلبات الري سوف ترتفع وتصبح فترة الري الإضافية أطول في ظل التغييرات المناخية المتوقعة. على سبيل المثال، يتوقع أن ترتفع طلبات الري السنوية الإجمالية العادية في مصر بنسبة 6 إلى 16% مع حلول سنة 2100،

الشكل 1 التغيير بين القيم الحالية والقيم المستقبلية (للسنوات 2025 و 2050 و 2100) على المستوى الوطني لمستلزمات مياه المزرعات الموسمية لبعض محاصيل الحقول والخضار الأساسية

الشكل 1





تخصيب الهواء الحر بالكربون (FACE) إلى أن استجابة المحاصيل للارتفاع في ثاني أكسيد الكربون يمكن أن تكون أدنى مما ظن سابقاً، مع عواقب على نمذجة المحاصيل وإسقاطات توفير الغذاء (Long et al., 2006). كما أن دراسات حديثة كثيرة تؤكد على أن التغيرات في الحرارة والتساقطات في العقود المستقبلية سوف تعدل وغالباً ما تحد من الآثار المباشرة لثاني أكسيد الكربون على النباتات. وعلى سبيل المثال، فقد تؤدي درجات الحرارة المرتفعة خلال فترة الإزهار إلى تخفيض آثار ثاني أكسيد الكربون بتخفيض عدد الحبوب وحجمها وجودتها (Caldwell et al., 2005). كما أن درجات الحرارة المتزايدة يمكن أن تخفض من آثار ثاني أكسيد الكربون بطريقة غير مباشرة بزيادة الطلب على المياه (Xiao et al., 2005).

وقد تؤدي مستويات ثاني أكسيد الكربون في المستقبل إلى تفضيل نباتات C3 على نباتات C4 (Ziska, 2003)، إلا أن العكس يتوقع أن يحصل في ظل ارتفاعات في درجات الحرارة تكون متصلة بذلك، أما الآثار الصافية فتبقى غير أكيدة. وبصورة خاصة، بما أن أكثر من 80% من مجموع الأراضي الزراعية، وما يقارب 100% من أراضي الرعي، هي بعلية، فإن التغيرات في التساقطات المرتبطة بنموذج الدوران العام سوف ترسم في أغلب الأحيان توجه الآثار الإجمالية ونطاقها (Reilly et al., 2003).

والحيوانات، أزمات السوق) وقد تشعر بها الأسر فردياً أو جماعات كاملة (Scoones et al., 1996). وفي الوقت الحاضر تواجه أنظمة زراعات الكفاف ومصادر الرزق الخاصة بصغار الملاكين عدداً من عوامل الضغط المتشابهة غير التغيير المناخي والتقلبية المناخية (Iglesias, 2002). ويرجع أن يتراجع عدد الأسر من صغار الملاكين مزارعي الكفاف، إذ تجذب أو تدفع إلى سبل معيشة أخرى، مع أولئك الذين لا يزالون يعانون تقلبية متزايدة وفقراً متزايداً (Lipton, 2004).

وتشمل آثار التغيير المناخي على زراعة الكفاف وزراعة صغار الملاكين والمراعي والمصائد الحرفية: (1) الآثار المباشرة للتغيرات في الحرارة، وثاني أكسيد الكربون والتساقطات على محاصيل زراعات غذائية ونقدية محددة، وإنتاجية أنظمة المواشي والمصائد، والصحة الحيوانية، (2) آثاراً مادية أخرى للتغيير المناخي تهم صغار الملاكين، مثل التراجع في التزويد بالمياه لأنظمة الري، وآثار ارتفاع مستوى البحار على المناطق الساحلية والارتفاع في وتيرة العواصف المدارية (Adger, 1999)، وأشكالاً أخرى من الوجود البيئي التي هي قيد التحديد الآن مثل ازدياد خطر حرائق الغابات (Agrawala et al., 2003) وإعادة تجمع الكثبان (Thomas et al., 2005)، و(3) الآثار على الصحة البشرية، مثل خطر الإصابة بالمalaria.

III. أثر التغيير المناخي على إنتاج المحاصيل الزراعية

تعتبر استجابة النباتات لارتفاع ثاني أكسيد الكربون وحده، من دون التغيير المناخي، إيجابية، وقد تمت مراجعة هذا بشكل واسع في عدد كبير من الدراسات (أنظر المراجع). وتؤكد الدراسات الحديثة على أن آثار الارتفاع في ثاني أكسيد الكربون على نمو النبات وعلى المحاصيل سيعتمد على مسار التمثيل الضوئي والأجناس ومرحلة النمو والأنظمة الإدارية، مثل استخدام المياه والنيتروجين (مثلاً Ainsworth and Long, 2005). كحل وسط، وعبر أجناس متعددة وفي ظروف غير مجهد، تشير تحاليل حديثة للبيانات إلى أنه، بالمقارنة مع تركيزات ثاني أكسيد الكربون الحالية في الغلاف الجوي، يرتفع إنتاج المحاصيل في تركيز 550 جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون بما يراوح بين 10-20% لمحاصيل C3 و 0-10% لمحاصيل C4 (Ainsworth et al., 2004; Long et al., 2004).

وأشارت بعض الدراسات التي تستخدم طريقة إعادة تحليل

التغيرات المتوقعة في الإنتاج لبعض المحاصيل الأساسية في مصر في ظل ظروف التغير المناخي

الجدول 1

المصادر	التغير (%)		المحصول
	2100s	2050s	
Eid and EL-Marsafawy (2002)		-11%	الرز
Eid et al. 1997b		-19%	الذرة
Hassanein and Medany, 2007	-20%	-14	حبوب الصويا
Eid and EL-Marsafawy (2002)		-28%	الشعير
Eid et al. 1997b		-20%	القطن
Eid et al. 1997a	+31%	+17%	الفاول
Hassanein and Medany (2009)	+6 to +11%	-4.4 to -6.6	البطاطا
Medany and Hassanein (2006)	+0.2 to +2.3 %	-0.9 to -2.3%	القمح
Eid et al 1992a, b, Eid et al 1993a, b, c,	-26 to -38%	-4.8 to -17.2	
Eid 1994, Eid et al 1994a, b,			
and Eid et al 1995a, b			

غاية الأهمية للتمكّن من قياس الآثار بشكل كمّي (Hogg and Bernier, 2005).

بالإضافة إلى ذلك، تعتبر التفاعلات بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة عاملاً أساسياً في تحديد الضرر النباتي المتأتي عن الأفات في العقود المستقبلية، مع أنّ التحاليل الكميّة التي تمت حتى اليوم هي قليلة. وكذلك التفاعلات بين ثاني أكسيد الكربون والتساقطات هي هامة أيضاً (Zvereva and Kozlov, 2006).

على سبيل المثال، تمت دراسة وقع التغير المناخي على بعض الأفات والأمراض الهامة على المستوى الوطني، مثل اللفحة المبكرة للإجاص واللفحة المتأخرة للبطاطا (Fahim, et al., 2007)، وأمراض شقران القمح (Abo Elmaaty et al., 2007). والأهم أنّ الزيادة في الظواهر المناخية الشديدة يمكن أن تعزز أمراض النباتات وموجات الأفات (Gan, 2004).

IV. أثر التغير المناخي على المواشي والرعي

تشتمل المراعي على أنظمة بيئية للمروج الطبيعية كما للمراعي الحرجية. وتتواجد المراعي الحرجية في كلّ قارة، وعادة في المناطق حيث تحدّ قيود الحرارة والرطوبة من وجود أنواع النباتات الأخرى. فهي تشمل الصحارى (الباردة والحارة والتوندر) وأراضي الأشجار الخفيفة والأجمات والسافانا. وتحتلّ المراعي 33% من مجموع مساحة المنطقة

أشارت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC 2007a) إلى أنّ الإنتاج الزراعي في كثير من البلدان الأفريقية يتوقّع أن يتعرّض إلى حدّ كبير للخطر بفعل التقلبية المناخية والتغير المناخي. ويمكن أن تخفّض محاصيل الزراعة البعلية في أفريقيا بنسبة تصل إلى 50% مع حلول سنة 2020، كما أنّ ارتفاع مستوى مياه البحر المتوقّع سوف يؤثّر أيضاً على المناطق الساحلية المنخفضة التي فيها كثافة سكانية عالية، ما سوف يستلزم كلفة إجمالية للتكيّف يمكن أن تبلغ على الأقلّ 5-10% من الناتج المحلي الإجمالي.

بالنسبة إلى العالم العربي، تشير خلاصة معظم الدراسات إلى توجّه عامّ نحو انخفاض في معظم محاصيل الحبوب الأساسية. وخلصت دراسة الشاعر ومعاونيه (1997) إلى أنّ التغير المناخي يمكن أن يحدث ضرراً حاداً في الإنتاجية الزراعية في حال لم تتخذ أيّ إجراءات للتكيّف. ويشير الجدول 1 إلى وقع التغير المناخي على بعض المحاصيل الأساسية في نمط المحاصيل المصري، المشار إليه في دراسات سابقة. ومع حلول سنة 2050، قد يزيد التغير المناخي من الحاجات المائية بنسبة تصل إلى 16% للمحاصيل الصيفية، لكنه يخفض هذه الحاجات بنسبة تصل إلى 2% للمحاصيل الشتائية (Eid and El-Mowelhi, 1998).

من جهة أخرى، تبرز آثار سلبية إضافية للتقلبية المناخية المتزايدة على الإنتاج النباتي بفعل التغير المناخي. ويعتبر فهم الروابط القائمة بين الوتيرة المتزايدة للظواهر المناخية الشديدة واضطراب النظام البيئي (حرائق، آفات، إلخ) في

الداجنة غير المتكيفة مع تلك الظروف. وهذه هي الحال بصورة خاصة بالنسبة إلى المواشي التي تتوالد بشكل رئيسي في أشهر الربيع والصيف. وبلغ أموندسون ومعاونوه (2005) عن تراجع في معدلات حمل المواشي في درجات حرارة تفوق 23,4 درجة مئوية وبمؤشر حراري مرتفع.

بالإضافة إلى ذلك، الآثار على الإنتاجية الحيوانية بفعل التقلبية المتزايدة في أنماط الطقس سوف تكون على الأرجح أكبر من الآثار المرتبطة بمعدل تغير الظروف المناخية. وغالباً ما يؤدي نقص التكيف المسبق للظواهر الطقسية إلى خسائر كارثية في معالف المواشي المعزولة (Hahn et al., 2001)، مع خسائر اقتصادية ناجمة عن أداء منخفض للماشية تنحط بأضعاف تلك المرتبطة بخسائر نفوق الحيوانات (Mader, 2003). وفي المناطق الجافة، تبرز مخاطر أن يؤدي التردّي الحادّ في الغطاء النباتي إلى مفاعيل متلازمة بين تدهور التربة وانخفاض الغطاء الأخضر والتساقطات المطرية، مع ما يتبع هذا من خسائر متعلقة أيضاً بمساحات الرعي والأراضي الزراعية (Zheng et al., 2002). ويظهر عدد من الدراسات التي أجريت في أفريقيا (Batima, 2003) علاقة قوية بين موجات الجفاف ونفوق الحيوانات. كما أن الارتفاعات المتوقعة في درجات الحرارة، مقرونة بتساقطات منخفضة في شمال أفريقيا، من شأنها أن تؤدي إلى خسارة متزايدة في الحيوانات الداجنة خلال ظواهر مناخية شديدة في مناطق معرضة للجفاف. ومع ازدياد الإجهاد الحراري في المستقبل، سوف ترتفع مستلزمات المياه للمواشي إلى حد كبير بالمقارنة مع الظروف الحالية، فيتوسع الرعي الجائر قرب مراكز توزيع المياه (Batima et al., 2005).

V . أثر التغير المناخي على صيد الأسماك وتربية المائيات

تربية المائيات شبيهة بالتربية الحيوانية البرية، وبالتالي تشارك ذلك القطاع الكثير من جوانب التأثير والتكيف مع التغير المناخي. وتشمل أوجه الشبه: نوعية الملكية، وضبط المدخلات، والأمراض، واستخدام الأراضي، والمياه. كما تعتمد بعض أنواع تربية المائيات، لا سيما منها النباتات، على مغذيات تنشأ طبيعياً، أما تربية الأسماك فتستلزم عادةً إضافة الغذاء المناسب. وتعتمد المصائد الطبيعية على إنتاجية الأنظمة البيئية الطبيعية، وهي بالتالي معرضة للتغيرات الناشئة عن التغير المناخي والتي تؤثر على الإنتاج في الأنظمة البيئية المائية الطبيعية.

العربية. ولكن هذه المساحة معرضة للخطر نظراً إلى الظواهر المتصلة بالتقلبية المناخية (كالجفاف والفيضانات) والتصحّر (AOAD, 2008).

وتتواجد المراعي وأنظمة إنتاج المواشي في معظم الظروف المناخية، وتتراوح بين أنظمة الرعي الموسع مع حيوانات عاشبة من أكلة نبات راعية، وأنظمة مكثفة مركزة على المحاصيل العلفية ومحاصيل الحبوب حيث يُبقى على الحيوانات في معظم الأحيان في الداخل. وإن مزيج الارتفاعات في تركيز ثاني أكسيد الكربون والتغيرات في تساقطات المطر ودرجة الحرارة، يرجح أن يكون له وقع هائل على المروج الطبيعية والمراعي الحرجية، مع ارتفاعات في الإنتاج في المروج الطبيعية المعتدلة الرطبة، ولكن مع انخفاضات في المناطق القاحلة وشبه القاحلة (IPCC 2007a).

وتتراوح مستلزمات الحيوانات من البروتينات الخام في المراعي بين 7% و8% من المادة الجافة المبتلعة، حتى 24% للأبقار التي تنتج أكبر كميات من الحليب. وفي حالات التدنّي الكبير للنيتروجين في المراعي في ظلّ ظروف قاحلة وشبه قاحلة، من شأن الانخفاضات الممكنة في البروتينات الخام، في ظلّ ارتفاع ثاني أكسيد الكربون، أن تضع أيّ نظام في مستوى ما دون القدرة على الاحتمال للآداء الحيواني (Milchunas et al., 2005). كما أن تراجع الأعشاب C4 التي تعتبر أقلّ تغذية من C3 (Ehleringer et al., 2002)، في ظلّ مستويات مرتفعة لثاني أكسيد الكربون (Polley et al., 2003)، يمكن أن يعوّض عن محتوى البروتين المنخفض في ظلّ ارتفاع ثاني أكسيد الكربون. وبصورة عامة، فإنّ الإجهاد الحراري يحدّ من معدلات الإنتاجية والتوالد، وهو قد يحمل تهديداً للحياة بالنسبة إلى المواشي. وبما أن ابتلاع الطعام والعلف متصل بشكل مباشر بإنتاج الحرارة، فإنّ أيّ تراجع في كمية الاستهلاك الغذائي و/أو كثافة الطاقة للنظام الغذائي من شأنه أن يخفض كمية الحرارة التي يجب على الحيوان أن ينشرها. ويؤكد مادرو وديفيس (2004) على أن الارتفاع المفرط في الحرارة غالباً ما تنتج عنه تراجع في النشاط الجسدي مع تراجع مماثلة في أنشطة الأكل والرعي (بالنسبة إلى القوارض وحيوانات نباتية أخرى). وأظهرت نماذج جديدة عن أحوال الطاقة والأغذية الحيوانية (Parsons et al., 2001) أن درجات الحرارة العالية تضع سقفاً لحصول الحليب ومشتقاته بغض النظر عن كمية الاستهلاك الغذائي. ومن شأن الارتفاعات في حرارة الجو و/أو الرطوبة أن تؤثر على معدلات التوالد للحيوانات

المنمطة والمعلومات عن الممرضات يصعب عادةً عملية تحديد الأسباب (Harvell et al., 1999).

VI . أثر التغير المناخي على إنتاجية الغابات

تغطي الغابات حوالي 928 ألف هكتار أو 6,6% من مساحة العالم العربي . وثالث هذه المساحة تقريباً يقع في السودان . وتتوقع دراسات النمذجة ارتفاعاً في إنتاج الخشب على الصعيد العالمي . ففيما تقترح النماذج أن إنتاجية الخشب العالمية سوف ترتفع على الأرجح مع التغير المناخي ، سوف يشهد الإنتاج الإقليمي تقلباً واسعاً ، شبيهة بتلك المذكورة بشأن المحاصيل . كما أن التغير المناخي سوف يؤثر أيضاً إلى حد كبير على خدمات أخرى ، مثل البذور والجوز والأصماغ وصيد الحيوانات ، والنباتات المستعملة في الأدوية والطب النباتي وفي صناعة مستحضرات التجميل . كما تتميز هذه الآثار بدرجة عالية من التنوع والتوزيع المناخي . وتقترح دراسات حديثة أن مفاعيل ثاني أكسيد الكربون المباشرة على نمو الأشجار يمكن أن تراجع لتعتمد قيمياً أدنى من تلك المفترضة مسبقاً في نماذج نمو الغابات . وأشار عدد من دراسات FACE إلى أن متوسط صافي الإنتاجية الأولية (NPP) يرتفع بنسبة 23% في أغراس الأشجار اليافعة عند تركيز 550 جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون (Norby et al., 2005) . ولكن في غرسه شجرة عمرها 100 عام ، وجد كورنر ومعاونوه (Korner et al. 2005) حافظاً ضعيفاً لنمو الساق على فترة أربع سنوات . إضافة إلى ذلك ، يمكن تقييد الارتفاع الأولي في النمو بفعل المنافسة والاضطراب وملوثات الهواء وقيود المغذيات وعوامل أخرى (Karnosky, 2003) ، والاستجابة تعتمد على الموقع والأجناس .

أجري في السنوات الأخيرة عدد من الدراسات الطويلة الأمد عن العرض والطلب على منتجات الغابات (IPCC 2007a) . وتتوقع هذه الدراسات تحولاً في الحصاد من الغابات الطبيعية إلى الغابات المزروعة (هاغلر ، 1998) . وأخيراً ، مع أن التغير المناخي سوف يكون له تأثير على توافر الموارد الحرجية ، فإن الأثر الذي هو من منشأ بشري ، لا سيما التغير في استخدام الأراضي وإزالة الغابات ، يرجح أن يكون في غاية الأهمية (Zhao et al., 2005) .

VII . تكييف الزراعة في العالم العربي

في العام 2001 ، عرقت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير



وقد أشارت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC 2007a) إلى عدد من الآثار السلبية الأساسية للتغير المناخي على تربية المائيات ومصائد أسماك المياه العذبة ، بما في ذلك : (1) الإجهاد الناشئ عن ارتفاع الطلب على الحرارة والأكسجين وارتفاع الحموضة (pH أدنى) ، (2) إمدادات مياه غير أكيدة في المستقبل ، (3) أحداث مناخية شديدة ، (4) ارتفاع في وتيرة الأمراض والظواهر السمية ، (5) ارتفاع في مستوى مياه البحر وتضارب مصالح مع ضرورات حماية الشواطئ ، (6) توافر غير أكيد في المستقبل لغذاء السمك والزيوت من مصائد الصيد . وتشمل الآثار الإيجابية معدلات نمو مرتفعة وكفاءة تحويل الأعذية ، وإطالة موسم التربية ، وتوسع المساحة ، واستخدام مساحات جديدة بفعل انحسار الغطاء الجليدي .

ومن شأن الارتفاعات في درجات الحرارة أن تتسبب بارتفاعات موسمية في النمو ، لكنها قد تؤثر على مجموعات الأسماك في الطرف الأعلى من منطقة التحمل الحراري الخاصة بها . وتتفاعل الحرارة المتزايدة مع تغيرات أخرى ، بما في ذلك تراجع درجة pH وازدياد النيتروجين والنشادر (أمونيا) ، لزيادة التكاليف الأيضية . أما نتائج هذه التفاعلات فتعتبر فرضية ومعقدة (Morgan et al., 2001) .

إن التغيرات في الإنتاج الأولي والتحول عبر السلسلة الغذائية بفعل المناخ سيكون لها أثر أساسي على المصائد . وقد تكون هذه التغيرات إيجابية أو سلبية ، والواقع الشامل على المستوى العالمي غير معروف (IPCC 2007a) . إلا أن التغير المناخي كان سبباً في حدوث حالات موت جماعي في صفوف الكثير من الأجناس المائية ، بما في ذلك النباتات والأسماك والمرجان والثدييات . لكن نقص البيانات الوبائية

وتطبيقها لقطاع الزراعة مجموعة من الحواجز، بما فيها قيود القاعدة العلمية القائمة، والاستشعارات الخاصة بالسياسات في ظل الظروف والضغوط الحالية، والقدرة التكييفية الضعيفة للجماعات الريفية، وانعدام الدعم المالي، وغياب إطار مؤسسي مناسب.

ويخلص مدني ومعاونوه (Medany et al. 2007) إلى أن تصميم استراتيجية تكييفية لقطاع الزراعة يجب أن يأخذ بإجراءات بسيطة وقليلة الكلفة للتكيف يمكن أن تستوحى من المعرفة التقليدية للاستجابة إلى الظروف المحلية، ولتتواءم مع مستلزمات التنمية المستدامة. ولا يستحسن استعمال الحلول المستوردة المبنية على أساس مستويات عالية من التكنولوجيا وتكاليف أساسية عالية. إضافة إلى ذلك، يتم تشجيع نقل التكنولوجيا والمعرفة لدعم استراتيجيات التكيف، فإدخال تدابير التخفيف من آثار التغير المناخي والتكيف معه في الاستراتيجيات الإنمائية يعني تقوية هذه الاستراتيجيات وزيادة فعاليتها واستدامتها.

ويوصي مدني ومعاونوه (Medany et al. 2007) بما يلي لتعزيز تخطيط استراتيجيات التخفيف والتكيف للقطاع الزراعي في ظل الظروف المصرية:

- تحسين القدرة العلمية يجب أن يكون من أولى الأولويات في التخطيط الإنمائي.
- دعم سياسي ومالي لاستراتيجيات التكيف.
- يمكن أن تكون مقارنة "من أسفل إلى أعلى" للتخطيط لاستراتيجيات تكيف وتخفيف أكثر فعالية وتنفيذها.
- وضع إجراءات مرتكزة على الجماعات بإشراك الجهات المعنية في تخطيط التكيف، وتحسين القدرة التكييفية للقطاعات البشرية المختلفة.
- زيادة الوعي العام وتحسين مفهوم المناخ وعلاقته بالأنظمة البيئية والبشرية.
- تحسين القدرة التكييفية للجماعة يجب أن يركز على رسالة علمية واضحة، وأن يتمتع بدعم حكومي قوي.

درس الطاهر ومعاونوه (Attaher et al. 2009) فهم المزارعين لتخطيط التكيف في منطقة دلتا النيل، وخلصت الدراسة إلى أن المزارعين لديهم مبادرة حقيقية للتصرف بإيجابية من أجل تخفيف وقع التغير المناخي. إضافة إلى ذلك، وعلى رغم أهمية انخراط الجماعة المحلية في تخطيط التكيف، يجب أن يؤخذ التقييم العلمي بعين الاعتبار لوضع لائحة أكثر عملائية لإجراءات التكيف.

المناخ (IPCC) كلمة "التكيف" بأنها تعني التعديل الذي يحدث في الأنظمة البيئية أو الاجتماعية أو الاقتصادية كرداً على الحوافز المناخية الفعلية أو المتوقعة ومفاعيلها وآثارها. وتشير هذه الكلمة إلى التغيرات في العمليات أو الممارسات أو البنى للتخفيف من الأضرار الممكنة أو منعها أو الاستفادة من الفرص المتصلة بالتغيرات في المناخ. وهي تعني تكيفات للتخفيف من تأثير الجماعات أو المناطق أو الأنشطة حيال التغير والتقلب المناخيين (IPCC 2007a).

فدرجة التأثير العالية للقطاع الزراعي في البلدان النامية يجب أن تضعه في أعلى لائحة الأولويات في خطط التكيف. ومع أن التغير المناخي يتوقع أن تكون له آثار جدية على القطاع الزراعي في العالم العربي، لا تتخذ حالياً إلا جهود وخطوات متواضعة في مجالات البحث العلمي والتخفيف والتكيف.

تاريخياً، لطالما أظهرت الزراعة مستويات عالية من قابلية التكيف مع التقلبات المناخية. بالنسبة إلى أنظمة المحاصيل، تبرز طرق ممكنة متعددة لتغيير أساليب الإدارة للتعامل مع التغيرات المناخية والجوية (Challinor et al., 2007). وتشكل هذه التكييفات:

- أ. تغيير المدخلات مثل الأصناف والأنواع والمخصبات وكميات الري وتوقيتته وممارسات أخرى لإدارة المياه.
- ب. استخدام أوسع للتكنولوجيات البسيطة الملائمة.
- ت. إدارة مائية للحؤول دون التشبع بالماء، والحد من التآكل ورشح المغذيات في مناطق تشهد ارتفاعات في تساقطات المطر.
- ث. تغيير توقيت أنشطة زراعة المحاصيل أو موقعها.
- ج. تنويع الدخل بدمج أنشطة زراعية أخرى مثل تربية المواشي.
- ح. تحسين فعالية ممارسات إدارة الآفات والأمراض والأعشاب الضارة.
- خ. استخدام التوقعات المناخية الموسمية للتخفيف من مخاطر الإنتاج.

لقد تم تحديد خيارات كثيرة للتكيف مع التغير المناخي على أساس السياسات، وذلك بالنسبة إلى الزراعة والغابات والمصائد (Easterling et al., 2004). ويمكن أن تشمل هذه الخيارات أنشطة تكيف مثل تطوير البنية التحتية أو بناء القدرة على التكيف في إطار جماعة ومؤسسات مستخدمة أوسع. وغالباً ما يتم ذلك بتغيير بيئة صنع القرارات التي تحصل ضمنها أنشطة التكيف على مستوى الإدارة. وتواجه عملية تصميم استراتيجيات التكيف الوطنية

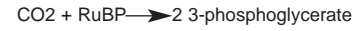
المراجع

- Abo Elmaaty, S.M., M.A. Medany, and N.N. EL-Hefnawy (2007). Influence of Climate Change on Some Rust Diseases of Wheat in Egypt, Procedures of the international conference on "climate change and their impacts on costal zones and River Deltas", Alexandria-Egypt, 23-25 April.
- Abou-Hadid, A.F., (2006). Assessment of impacts, adaptation and vulnerability to climate change in North Africa: food production and water resources. Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, Washington, DC.
- Adger, W.N., (1999). 'Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam'. *World Development*, 27:249-269.
- Agoumi, A., (2001). Vulnerability studies on three North Africa countries (Algeria, Morocco and Tunisia) with respect to climatic changes, final report of UNEP-GEF project RAB94G31.
- Agrawala, S., A. Moehner, A. Hemp, M. van Aalst, S. Hitz, J. Smith, H. Meena, S.M. Mwakifwamba, T. Hyera and O.U. Mwaipopo, (2003). Development and climate change in Tanzania: focus on Mount Kilimanjaro. Environment Directorate and Development Co-operation Directorate, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 72 pp.
- Ainsworth, E.A., A. Rogers, R. Nelson and S.P. Long, (2004). 'Testing the source-sink hypothesis of down-regulation of photosynthesis in elevated CO₂ in the field with single gene substitutions in Glycine max'. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122:85-94.
- Alexandratos, N. (2005). 'Countries with rapid population growth and resources constraints: issues of food, agriculture and development'. *Population and Development Review*, 31:237-258.
- Allison, E.H. and F. Ellis (2001). 'The livelihoods approach and management of small-scale fisheries'. *Marine Policy*, 25:377-388.
- Amundson, J.L., T.L. Mader, R.J. Rasby and Q.S. Hu (2005). Temperature and temperature-humidity index effects on pregnancy rate in beef cattle. Proc. 17th International Congress on Biometeorology, Detscher Wetterdienst, Offenbach, Germany.
- Arab Organization for Agricultural Development ñ AOAD (2008). Agriculture development in Arab World. Annual report of the Arab Organization for Agricultural Development.
- Arab Forum for Environment and Development ñ AFED (2008). Arab Environment, Future Challenges. AFED Annual Report 2008. N. Saab and M.K. Tolba (Eds.). Beirut, Lebanon: Technical Publications.
- Attaher, S.M., M.A. Medany, and A.F. Abou-Hadid (2009). 'Possible adaptation measures of agriculture sector in the Nile Delta region', *Journal of Advances in Science and Research*, Special volume of EMS8/ECAC7 conference, 29 September- 3 October 2008.
- Batima, P., (2003). Climate change: pasture-livestock. Synthesis report. Potential Impacts of Climate Change, Vulnerability and Adaptation Assessment for Grassland Ecosystem and Livestock Sector in Mongolia, ADMON Publishing, Ulaanbaatar, 36-47.
- Batima, P., B. Bat, L. Tserendash, S. Bayarbaatar, S. Shiirev-Adya, G. Tuvaansuren, L. Natsagdorj and T. Chuluun, (2005). Adaptation to Climate Change, Vol. 90, ADMON Publishing, Ulaanbaatar.
- Burton, I. and B. Lim, (2005). 'Achieving adequate adaptation in agriculture'. *Climatic Change*, 70:191-200.
- Caldwell, C.R., S.J. Britz and R.M. Mirecki, (2005). 'Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [Glycine max (L.) Merrill] grown in controlled environments'. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:1125-1129.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters and H. Yang, (2003). 'Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality'. *Annual Review of Environment and Resources*, 28:315-358.
- Challinor, A.J., T.R. Wheeler, P.Q. Craufurd, C.A.T. Ferro and D.B. Stephenson, (2007). 'Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures'. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119:190-204.
- Chambers, R., A. Pacey and L.A. Thrupp, (1989). *Farmer First: Farmer Innovation and Agricultural Research*. Intermediate Technology Publications, London.
- Cornish, G.A., (1998). Modern Irrigation Technologies for Smallholders in *Developing Countries*. Intermediate Technology Publications, Wallingford, UK.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busiuc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, W.-T. Kwon and Coauthors, (2007). Regional climate projections. Climate Change 2007: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, and M. Manning, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 847-940.
- Ehleringer, J.R., T.E. Cerling and M.D. Dearing, (2002). 'Atmospheric CO₂ as a global change driver influencing plant-animal interactions'. *Integrative and Comparative Biology*, 42:424-430.
- Eid, H. M. and El-Marsafawy, S. M., (2002). Adaptation to climate change in Egyptian Agriculture and water resources. 3rd International Symposium on Sustainable Agro-environmental Systems: New Technologies and Applications (AGRON 2002), Cairo, Egypt, 26ñ29 October.
- Eid, H. M., S.M. El-Marsafawy, A.Y. Salib, and M.A. Ali (1997a). Vulnerability of Egyptian cotton productivity to climate change, Meteorology and Environmental Cases Conference, Cairo, Egypt, 2ñ6 March.
- Eid, H. M., S.M. El-Marsafawy, N.G. Ainer, N.M. El-Mowelhi and O. El-Kholi (1997b). Vulnerability and adaptation to climate change in maize crop. Meteorology & Environmental Cases Conference, Cairo, Egypt, 2ñ6 March.
- Eid, H. M. and N.M. El-Mowelhi (1998). Impact of climate change on field crops and water needs in Egypt. African International Environmental Conference, Cairo, Egypt, October 1998.
- El-Shaer, M. H., C. Rosenzweig, A. Iglesias, H.M. Eid, and D. Hellil (1997). 'Impact of climate change on possible scenarios for Egyptian agriculture in the future'. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1: 233ñ250.
- Easterling, W.E., B.H. Hurd and J.B. Smith, (2004). Coping with global climate change: the role of adaptation in the United States, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia. At: <http://www.pewclimate.org/docUploads/Adaptation.pdf> (Accessed 20 July, 2007).
- Fahim, M. M., H.Y. Aly, M.A. Medany, and M.M. Fahim (2007). Effect of some climatic factors and the climate changes on the epidemiology of potato late blight disease in Egypt, Proc. of the international conference on "climate change and their impacts on costal zones and River Deltas", Alexandria-Egypt, 23-25 April.
- FAO, (2005). World agriculture: towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, (2008a). Climate change adaptation and mitigation: challenges and opportunities for food security, Information document HLC/08/INF/2, High-Level Conference on World Food Security: the Challenges of Climate Change and Bioenergy, 3-5 June 2008, Rome, Italy.
- FAO, (2008b). FAOSTAT database. At: <http://faostat.fao.org>.
- Gan, J., (2004). 'Risk and damage of southern pine beetle outbreaks under global climate change'. *Forest Ecology and Management*, 191: 61-71.
- Hagler, R., (1998). The global timber supply/demand balance to 2030: has the equation changed? A Multi-Client Study by Wood Resources International, Reston, VA, 206 pp.
- Hahn, L., T. Mader, D. Spiers, J. Gaughan, J. Nienaber, R. Eigenberg, T. Brown, Brandl, Q. Hu and Co-authors, (2001). Heat wave impacts on feedlot cat-

- tle: considerations for improved environmental management. Proc. 6th International Livestock Environment Symposium, R.R. Stowell, R. Bucklin and R.W. Botcher, Eds., American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, 129-130.
- Harrison, M., (2005). 'The development of seasonal and inter-annual climate forecasting'. *Climatic Change*, 70:210-220.
- Harvell, C.D., K. Kim, J.M. Burkholder, R.R. Colwell, P.R. Epstein, D.J. Grimes, E.E. Hofmann, E.K. Lipp and Coauthors, (1999). 'Emerging marine diseases climate links and anthropogenic factors'. *Science*, 285:1505-1510.
- Hassanein, M. K. and M.A. Medany (2007). The impact of climate change on production of maize (*Zea Mays L.*). International Conference on Climatic Changes and their Impacts on Coastal Zones and River Deltas: Vulnerability, Mitigation and Adaptation, April 23-25, 2007, Alexandria, Egypt, pp: 271 -288.
- Hassanein, M. K. and M.A. Medany (2009). Assessment of the impact of climate change and adaptation on faba bean production. (in press).
- Hogg, E.H. and P.Y. Bernier, (2005). 'Climate change impacts on drought-prone forests in western Canada'. *Forest Chronicle*, 81:675-682.
- Iglesias, A., (2002).
- IPCC (2001). Climate change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007a). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1000pp.
- IPCC (2007b). Climate Change 2007: The Scientific Basis, Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the IPCC Fourth Assessment Report 2007.
- Karnosky, D.F. (2003). 'Impact of elevated atmospheric CO₂ on forest trees and forest ecosystems: knowledge gaps'. *Environment International*, 29:161-169.
- Korner, C., R. Asshoff, O. Bignucolo, S. Hattenschwiler, S.G. Keel, S. Pelaez-Riedl, S. Pepin, R.T.W. Siegwolf and G. Zotz. (2005). 'Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂'. *Science*, 309:1360-1362.
- Lipton, M., (2004). Crop science, poverty and the family farm in a globalising world. Plenary Paper. 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, At: http://www.cropscience.org.au/icsc2004/plenary/0/1673_lipton.htm (Accessed 20 March, 2007)
- Long, S.P., E.A. Ainsworth, A.D.B. Leakey, J. Nosberger and D.R. Ort, (2006). 'Food for thought: lower expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations'. *Science*, 312:1918-1921.
- Mader, T.L., (2003). 'Environmental stress in confined beef cattle'. *Journal of Animal Science*, 81(electronic supplement. 2):110-119.
- Mader, T.L. and M.S. Davis, (2004). 'Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: feed and water intake'. *Journal of Animal Science*, 82:3077-3087.
- Magano, T., Hoshikawa, K., Donma, S., Kume, T., Onder, S., Ozekici, B, Kanber, R. and Watanabe, T., (2007). Assessing adaptive capacity of large irrigation districts towards climate change and social change with irrigation management performance model. In: N. Lamaddalena, C. Bogliotti, M. Todorovic and A. Scardigno (eds.). *Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs* (Proc. of the International Conf. of WASAMED project, 14-17 February 2007, Valenzano, Italy). Option Mediterranean Series, CIHAM, B n. 56 (1), 293-302.
- Medany, M.A. and S.M. Attaher, (2007). Climate change and irrigation in Mediterranean region, Proc. of the international conference on "climate change and their impacts on costal zones and River Deltas", Alexandria-Egypt, 23-25 April, 2007.
- Medany, M.A., S.M. Attaher, and A.F. Abou-Hadid, (2007). Socio-economical analysis of agricultural stakeholders in relation to adapting capacity to climate change in Egypt, Proc. of the international conference on "climate change and their impacts on costal zones and River Deltas", Alexandria-Egypt, 23-25 April.
- Milchunas, D.G., A.R. Mosier, J.A. Morgan, D.R. LeCain, J.Y. King and J.A. Nelson, (2005). 'Elevated CO₂ and defoliation effects on a shortgrass steppe: forage quality versus quantity for ruminants'. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111:166-194.
- Montazar, A., M.H. Nazari Far, and E. Mardi, (2007). Optimal water productivity of irrigation systems in a semi-arid region. In: N. Lamaddalena, C. Bogliotti, M. Todorovic and A. Scardigno (eds.). *Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs* (Proc. of the International Conf. of WASAMED project, 14-17 February 2007, Valenzano, Italy). Option Mediterranean Series, CIHAM, B n. 56 (3), 87-98.
- Morgan, I., D.G. McDonald and C.M. Wood, (2001). 'The cost of living for freshwater fish in a warmer, more polluted world'. *Global Change Biology*, 7:345-355.
- Norby, R.J., E.H. DeLucia, B. Gielen, C. Calfapietra, C.P. Giardina, J.S. King, J. Ledford, H.R. McCarthy and Co-authors, (2005). 'Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity'. *The National Academy of Sciences USA*, 102:18052-18056.
- Parsons, D.J., A.C. Armstrong, J.R. Turnpenney, A.M. Matthews, K. Cooper and J.A. Clark, (2001). 'Integrated models of livestock systems for climate change studies. 1. Grazing systems'. *Global Change Biology*, 7:93-112.
- Polley, H.W., H.B. Johnson and J.D. Derner, (2003). 'Increasing CO₂ from subambient to superambient concentrations alters species composition and increases above-ground biomass in a C3/C4 grassland'. *New Phytologist*, 160:319-327.
- Salinger, M.J., M.V.K. Sivakumar and R. Motha, (2005). 'Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change: workshop summary and recommendations'. *Climatic Change*, 70:341-362.
- Scoones, I., C. Cibudu, S. Chikura, P. Jeranyama, D. Machaka, W. Machanja, B. Mavedzenge, Mombeshora, M. Maxwell, C. Mudziwo, F. Murimbarimba and B. Zirereza, (1996). *Hazards and Opportunities: Farming Livelihoods in Dryland Africa: Lessons from Zimbabwe*. Zed Books in association with IIED, London and New Jersey.
- Thomas, D.S.G., M. Knight and G.F.S. Wiggs, (2005). 'Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming', *Nature*, 435:1218-1221
- World Resources Institute ñ WRI, (2002). *Drylands, People, and Ecosystem Goods and Services: A Web-based Geospatial Analysis*. Available online at: <http://www.wri.org>.
- Xiao, G., W. Liu, Q. Xu, Z. Sun and J. Wang, (2005). 'Effects of temperature increase and elevated CO₂ concentration, with supplemental irrigation, on the yield of rain-fed spring wheat in a semiarid region of China'. *Agricultural Water Management*, 74:243-255.
- Zhao, Y., C. Wang, S. Wang and L. Tibig, (2005). 'Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics'. *Climatic Change*, 70:73-116.
- Zheng, Y.Q., G. Yu, Y.F. Qian, M. Miao, X. Zeng and H. Liu, (2002). 'Simulations of regional climatic effects of vegetation change in China'. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128:2089-2114, Part B.
- Ziska, L.H., (2003). 'Evaluation of yield loss in field-grown sorghum from a c3 and c4 weed as a function of increasing atmospheric carbon dioxide'. *Weed Science*, 51:914-918.
- Zvereva, E.L. and M.V. Kozlov, (2006). 'Consequences of simultaneous elevation of carbon dioxide and temperature for plant-herbivore interactions: a meta-analysis'. *Global Change Biology*, 12:27-41.

ملاحظات

1. تثبيت الكربون C3 هو سبيل أبيض لتثبيت الكربون في التمثيل الضوئي. فهذه العملية تحوّل ثاني أكسيد الكربون والروبولوز بيوفوسفات (RuBP ، سكر من 5 كربون) إلى 3-فوسفوغليسيرات من خلال المعادلة التالية:



وتحدث هذه المعادلة في كافة النباتات كخطوة أولى من دورة كالفن.

2. تثبيت الكربون C4 هو واحدة من ثلاث آليات بيوكيميائية، إلى جانب الـ C3 والتمثيل الضوئي CAM، تعمل في النباتات الأرضية لـ "تثبيت" ثاني أكسيد الكربون (ربط الجزيئات الغازية بمركبات محلوّلة داخل النبتة) لإنتاج السكر من خلال التمثيل الضوئي. إلى جانب التمثيل الضوئي CAM، يعتبر تثبيت C4 كتقدّم على آلية تثبيت الكربون القديمة C3 العاملة في معظم النباتات. وكلتا الآليتان تتخطيان ميل الروبيسكو (RuBisCO) (الأنزيم الأول في دورة كالفن) إلى التنفس المحفّز بالضوء، أو تبدّد طاقة من خلال استعمال الأوكسيجين للتحفيز من مركّبات الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون. إلّا أنّ تثبيت C4 يستلزم مدخلاً أكبر من الطاقة منه في الـ C3 بشكل ATP. فنباتات الـ C4 تفصل الروبيسكو (RuBisCO) عن أوكسيجين الغلاف الجوي، مثبتة الكربون في خلايا الميزوفيل ومستخدمة الأوكسالواسيتات والمالات لنقل الكربون المثبت إلى الروبيسكو وسائر أنزيمات دورة كالفن المعزولة في الخلايا المحزّمة. والمركّبان الوسيطان يحتويان كلاهما على أربع ذرات كربون، من هنا تسمية الكربون 4 أو C4.