

食糧安全保障と 気候変動： 答えは生物多様性

農業の気候変動への適応に関する科学文献レビュー

著者：
ジャネット・コッター
レイズ・ティラド

グリーンピース・リサーチ研究所
エクセター大学（イギリス）
(EX4 4PS. GRL-TN-09-2008)

制作：グリーンピース・インターナショナル
日本語制作：グリーンピース・ジャパン

2008年6月 制作
2008年7月 翻訳

GREENPEACE

序

気候変動は世界中の農業に多大な影響を与えるだろう。多くの国々で、予測困難な降雨量変化や、これまで以上に頻発する異常気象により、食料安全保障が脅かされている。栽培条件が厳しい貧困国で農業を営む人びとは、とくに大きな影響を受けることになりそうだ。

最近の科学文献を概説したある論者によれば、農業を気候変動に適応させるためのもっとも効果的な対策は、生物の多様性を高めることだという。一つの農地で多種多品目の作物を混作するやり方は、不規則な天候の変化への適応力を増進する有効性が裏づけられた、信頼性の高い農法である。また単一品種内でストレスへの耐性を高める最善の方法は、MAS (Marker Assisted Selection: DNAマーカー選抜技術) のような、遺伝子組み換え技術を必要としない新しい品種改良技術だ。一方、遺伝子組み換え (GM) 植物が、気候変動のもとで食料安全保障の向上に少しでも寄与する可能性を示す裏づけ材料はまったく存在しない。

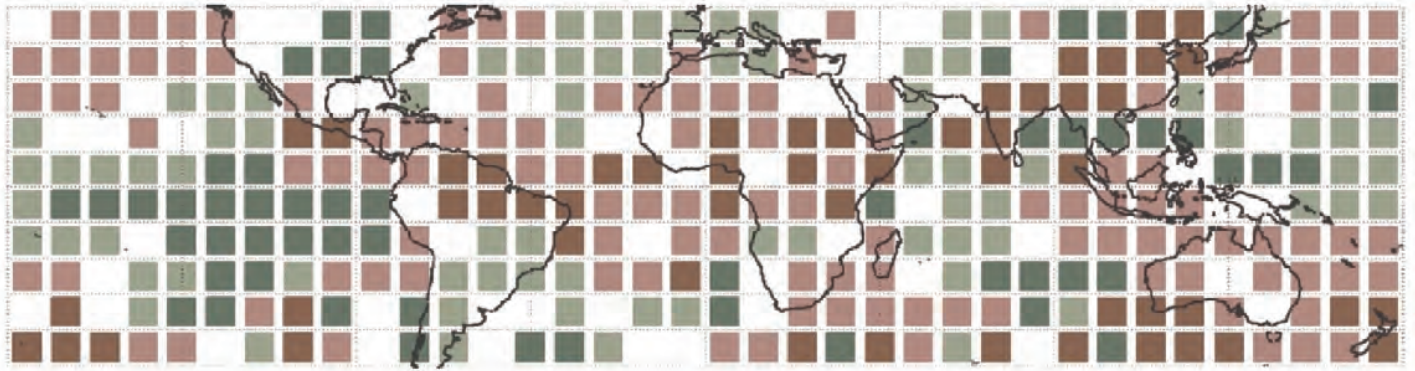
気候変動が農業と食料安全保障におよぼす影響

今後20～30年間、気候変動がもっとも直接的かつ大規模に影響をおよぼす分野は、農業と食料安全保障だろう (Brown and Funk 2008)。気候変動が食料安全保障に悪影響をおよぼすことは、あらゆる定量的評価が示している (Schmidhuber and Tubiello 2007)。

気温の上昇、雨量が減少しつつ降雨そのものの予測が難しくなること、異常気象の発生頻度増加、病虫害の激化などは、食料生産を左右する大きな変化の筆頭だ (Parry他 2007, Kotschi 2007, Morton 2007, Brown and Funk 2008, Lobell他 2008)。しかし、地球全体の傾向にばかり目を奪われると、大きな地域差を見落としてしまう。たとえば、地球規模の気候変動によっても世界的な物価変動によっても、一番大きな危険にさらされるのは、もっとも貧しい国や人びとである (Diaz他 2006)。地球規模の気候変動によるもっとも重大な影響は、主として発展途上国に集中する小作農家にのしかかるだろう (Morton 2007)。

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) は最新の報告書で、21世紀を通して熱波や集中豪雨、干ばつその他の異常気象がますます起こりやすくなると予測している (Parry他 2007)。インド洋の水温上昇や、増加傾向にあるエルニーニョのような気候現象は、アフリカ大陸と西アジア、南アジア、中南米の大部分の地域において、雨期の降水量を減少させかねない (図1参照) (Brown and Funk 2008)。

主にアフリカや中南米の熱帯地域に位置する最貧国40カ国では、干ばつのため2080年までに、主食となる基礎穀物の最大生産量が10～20%低下する可能性が指摘されている (Kotschi 2007)。食料安全保障においてもっとも重大な問題は、極端な異常気象の頻発が予想されることだ。異常気象が頻発すれば、作物 (とりわけ成長中のもの) に被害が出て、農作業のタイミングが難しくなり、農家が栽培そのものを続ける気力を失う (Morton 2007)。



迫りくる気候変動：この地図は、インド洋(3)、西太平洋(4)における水温上昇の影響予想を示したもので、各10グリッドセルごとに、主な雨期3カ月における標準降水量(ΔP)との差を表している(8)。σ(標準偏差)。東アフリカ、南アフリカなど、今後50年間で降水量の変動が予想される地域では、すでに重大な食糧問題に直面している。

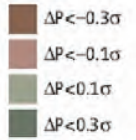


図1 降水量の変動予測赤色グリッドセルは、雨期3カ月における降水量の減少、緑色グリッドセルは、降雨量の増加を示している (Brown, M. E., and C. C. Funk 2008, Food security under climate change. Science, 319:580-581) (上記の図と説明は米国科学振興協会より転載許可を得ている)

生物多様性—— 自然による気候変動への対応保護策

生物多様性を重視した農業は、気候変動のもとで食糧を確保する方法として、現代における唯一かつ最重要の技術といえる。生物多様性は、野生の生態系であれ農業生態系であれ大きな変化が起きた際、自然が自身を守る保険の役割をはたすことが、研究者たちによって実証されている (McNaughton 1977, Chapin他 2000, Diaz他 2006)。また現在では、人間の活動が主因となって引き起こす急激な気候変動や、変化の著しい環境を生きのびるうえで、遺伝子の多様性が最大の鍵になるだろうと予測されている (Reusch他 2005, Hajjar他 2008, Hughes他 2008)。

一つの農地または生態系内に存在する生物が多種多様であればあるほど、少なくともその一部が環境の変化に適応できる可能性は高くなる。また種が多様であれば、益虫が存在する可能性も高くなるために、害虫や病気が蔓延する可能性も低くなる (Chapin他 2000)。多様な作物や品種の栽培によるリスク分散は、農業を営む地域で長年行われてきた方法だ。これは年の収穫量を最大にしようとする対策ではない。悪い年に凶作となる可能性を抑えることで、良い年も悪い年も含め長期にわたる収穫を最大にしようとする対策である (Altieri 1990)。

現在では、このような生物多様性を重視した農業戦略は、最新の豊富な科学データによって裏づけられている。

- 中国の雲南省で、1998年から1999年にかけて研究者と農民とのユニークな共同プロジェクトが行われた。稲作における甚大な病害である「いもち病」を抑えるのに、生物多様性がどれほどの効果を表すかの調査だ (Zhu他 2000)。調査によると、いもち病にかかりやすい品種を病気になるにづらい品種と一緒に作付けした場合、その収量は、単一栽培のときと比べ89%も多かった。ほかにも、稲の単一栽培と多品目栽培の生産高を比較すると、すべての実験で多品目栽培のほうが面積あたりの収量が多かった。ハイブリッド種のモチ米の調査結果より、多品目栽培と同じ収量を上げるには、単一栽培で20%近くも作付け面積を広げる必要があったことが分かった (Zhu他 2000)。

2年にわたるこの研究は大成功を収め調査終了時には、もはや抗菌薬剤散布が必要なくなるほどだった。多品目栽培農法は2000年には4万ヘクタール以上に拡大され、一部地域では以前絶滅した品種も栽培されるようになっていく (Zhu他 2000)。とりわけ注目に値するのは、この地域はすでにヘクタール当たり110トン近くの収量という、世界でも有数な生産高を誇っていたことだ (Zhu他 2000)。つまり、コメの品種が多様であればあるほど、農家にとっても環境にとっても最小のコストで、遺伝子の多様性を守りながら病害発生率を低く抑え、収量を増やせることがわかる。

- ドイツ沿岸の遺伝的に多様な海草が生息する地域では、そうした海草が熱波に強いだけでなく、単一で生産される場合と比べて収穫が26~34%多かった(Reusch他 2005)。単一品種栽培の場合、異常気象に対し短期的かつ限定的な適応力しかもたないのに比べ遺伝子の多様性があれば異常気象後の回復力が強いことを示している。
- イタリアでは、かんがいしていない小麦畑の遺伝子多様性を高く保つことで、乾期における不作のリスクを低減した。通常では、降水量が20%減少すると小麦の収量は一気に低下するとされるが、多様性を2%高めた畑では収量が低下しなかったばかりか、平均生産量を上回った(Di Falco and Chavas 2006, 2008)。
- アメリカ・ミシガン州の農地で3年間にわたり、農学者が単一栽培と間作を行った農地のトウモロコシ生産力を比較した。その結果、農地の多様性レベルがもっとも高かった(3種の作物に加え、3種の間作物)栽培方法が、3年間単一作物の連作栽培より100%以上の増産になることがわかった。多様な作物を作付けすることによって土壌の生産力も改善し、高い生産量を維持しながら、化学肥料の使用頻度も低減することができたのだ(Smith他, 2008)。

変化する自然環境に適応していくために、作物の多様性が重要な役割をはたすと結論づけている科学的実証例は豊富にある。遺伝的に似通った情報をもつ作物のみの単一栽培を行う、過度に単純化した農法では、気候変動にうまく対処することができない。これに対し、農地の生物多様性を高めることは、長期的に生産性を維持する一助となり食料安全保障に大きく寄与する。土地の遺伝的多様性を保てば、環境変化や病虫害の発生などによる減収に対する緩衝装置の働きをしてくれる。遺伝的多様性は、信頼性と安定性と長期的見通しを備えた食物生産に必要な「適応力」をもたらすのである(Diaz他 2006)。

過去に深刻な飢饉(たとえば18世紀のアイルランドで起きたジャガイモ不作や、1965~1997年にエチオピアで起きた飢饉)を引き起こした環境変化の例は、特殊化した単一栽培がいかに危ういかを物語っている(Fraser 2007)。

農地における多様性は、食料安全保障や気候への適応力を高めることに加え、生態系に対して重要なサービスも提供する。干ばつや洪水に耐えうる多種多品目の栽培は、生産性の向上だけでなく、土壌流出や砂漠化の防止にもつながり、土壌中の有機物を増やして、斜面の安定化にもつながる(Hajjar他 2008)。農家にとっては、高額な農薬を使わずにすむ利点に加え、食材の多様性拡大や健康の向上と、市場における在来種作物の付加価値もメリットとして受け取ることができる(Hajjar他 2008)。

気候変動に関する「IAASTD(開発のための農業科学技術の国際的評価)」

2008年4月、世界農業報告書としても知られるIAASTD(開発のための農業科学技術の国際的評価)が最終的にまとめられ、農業のあり方を変える必要性が指摘された。世界銀行の発案により、世界の研究者400名以上によって執筆されたこのレポートは、信憑性において「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の報告とも肩を並べる。農業に関する世界的な科学界の見解を表しており、約60カ国の政府によって支持された。報告書の「意思決定者のためのグローバルな要約」では、以下のように述べている。

「予測される気候変動の課題と、その影響に対処するためには、目的を明確にした生物多様性の管理を通じて、その適応能力や回復力の強化に農業知識・科学・テクノロジー(AKST)が大きな役割をはたさなければならない。さらに、かんがい管理、貯水のための技術、農業システムの多様化、農業分野における生物多様性の保護、気候変動に耐性をもつ遺伝資源のふり分けなども選択肢に含まれる」

IAASTD総合報告書では、農業における気候変動問題を扱った箇所でも、適応策には以下のような可能性があるとして記している。

- 温度や水資源の条件変化により適切に対応するため品種や生物種を変える。
- かんがいのタイミング変更や、土壌栄養分管理の調整。
- 節水技術の適用。また、農業システムの適応力のさらなる強化のために、農地の生物多様性を高める。
- 作付け時期や場所(位置)の変更、および農業の多様化。

遺伝子組み換え作物に関しては IAASTD世界レポートの第6章で次のように述べている。

「環境との相互作用から遺伝子を理解することの難しさと、遺伝子組み換え植物の開発におけるこれまでの経験とに照らして、植物研究者のなかには、将来における世界の食料生産の継続的な増加に対する遺伝子組み換え植物の貢献度が誇張されていると考える者もいる。」

多様な遺伝形質に関する最新交配技術

一つの農地で作物や品種の多様性を高めることに加え、単一品種の中で遺伝形質の多様性を高めることもまた、気候変動に対する適応の一助となりうる。一つの農地で、単一品種の個体がそれぞれ干ばつや塩害、洪水、暴風雨、病害虫などに対してより高い耐性を備えていれば、全体として極端な天候に対する適応力は高まるだろう。

しかし、ある科学文献評論によれば、選択すべき方法は遺伝子組み換え技術ではなく、DNAマーカー選抜技術（MAS）を含む、伝統的な交配技術や遺伝子組み換えをとまなわないう最新の交配技術だということが明らかになっている。従来品種を用いて多数のストレス形質を交配する技術は、かなりの広がりをもつ。これらのストレス形質は通常、複数の遺伝子に管理されているため、さらに、遺伝子同士の相互作用やその植物と環境とのあいだの複雑な相互作用によって管理される。MASは目的の遺伝情報を含む複数の遺伝子（未知の遺伝子調整システムを含む）が、その遺伝子選抜を手伝う。これと対照的に、遺伝子組み換え技術は、複雑な調整メカニズムを制御することなく、単一や少数の遺伝子を粗雑な方法で人工的に挿入することしかできない。

MASとは？

MASとはMarker Assisted Selection（DNAマーカー選抜技術）の略で、MAB（Marker Assisted Breeding）とも呼ばれる。MASは従来行われてきた交配方法にかかる時間を「加速」する技術。遺伝子やDNA情報を応用する技術だが、常に一つの種の中で行われるため、遺伝子組み換え生命体（種の壁を越えた生命体）を作り出すものではない。特定のDNAマーカー（断片）は、特定の遺伝形質（干ばつに強いなど）と密接に連鎖していることが確認されている。交配後、その子孫内にDNAマーカーが存在するかどうか、すなわち目的とする遺伝形質をもっているかどうかは、スクリーニング（選別検査）で調べることができ、植物を実際にストレスのある環境で栽培する必要はない。従来行われてきた品種改良にまさるMASの重要な利点は、目的とする遺伝形質（有用形質）の選抜時に、好ましくない遺伝形質（不良形質）が同時に取り込まれてしまう可能性を回避できることである。

近年MASを使い、気候変動に対する適応力に結びつきそうな遺伝形質を備えた植物、つまり干ばつ、熱、寒さなどに耐える可能性のある植物の交配に成功している。しかし、これらのいずれの品種も、気候変動のもとで単独では食料安全保障に寄与しえないことを強調しておかねばならない。干ばつや洪水、嵐、熱波などが続発する不規則な天候下の農業に必要な多様性や回復力を提供できるのは、幅広い作物や品種を用いた多品種生産システムのみである。

MASの注目すべき成功例

- 予期せぬ洪水に耐えるコメ。稲作は季節的な洪水などのストレスにさらされやすい。このような洪水は予測が難しく、成長中の若い稲に被害を与える可能性がある。遺伝子マッピングを通じて、研究者たちは長期的な浸水への耐性を備えた稲を作る遺伝子を含むDNA断片を特定した(Xu他 2006, Sasaki 2006)。研究者たちは、MASを使って地域の在来種や交配品種にこの遺伝形質を組み込むことに成功した。これにより、気象パターンがますます予測しにくくなるとともに、不規則に発生する洪水に対して適応能力をもつ、新しい品種の交配が可能になった。
- 病気の蔓延は、気候変動によって予測される影響の一つだ。コムギの収穫を全滅させる真菌によるコムギ黒さび病(Ug99)という新たな試練が、アフリカに広がりつつある。栽培されているコムギ品種の大部分が、この悪性の病気に感染する可能性がある。現在、MASを使ってこの病気への耐性を備えたコムギの開発が進んでいる。遺伝子組み換えよりむしろMASが選ばれた理由は、DNAマーカー選抜技術であれば複雑な遺伝形質を持つ品種を作ることができるからである(Durable Rust Resistance in Wheat, 2008)。MAS交配法では、コムギ遺伝子の多様性を利用して、生産性の高い品種に取り込ませることのできる耐性遺伝子を探し出す。これは作物の遺伝的多様性の保護が重要であることの証左だが、きわめて少数の品種に依存する現代の集約的な農業では、遺伝的多様性の維持は危機に瀕している。

世界的な遺伝子組み換えの巨大企業モンサント社でさえ、自社の研究開発カタログの中でこの交配技術を取り上げ、「DNAマーカー選抜技術」という項目では以下のように述べている。「今日、飛躍的な技術を利用して植物育種に再発明がもたらされた。これにより、有用遺伝子の選抜をこれまでの方法の2倍以上のスピードで迅速におこなえる。つまり、収穫高や環境ストレスへの耐性といった重要な特徴が改良できるのである(Monsanto 2008a)。」

こうした例から明らかなおとおり、従来の交配技術に遺伝子マーカー技術を加えることによって、調節を含む植物の複雑な遺伝形質を商業品種に取り込むことができる。これに対し、遺伝子組み換え植物は現在までのところ、ストレス耐性の領域で十年來の約束を何一つ果たせていない。それどころか、最近の遺伝子組み換え品種は著しく異常気象の影響を受けやすい。

遺伝子組み換え技術の限界

これまで遺伝子組み換え作物は、20年ほど前に開発された数少ない遺伝形質のみに限定されている。除草剤耐性と害虫耐性である。現実の条件下で利用できるようなストレス耐性を備えた遺伝子組み換え植物はまだない。現在、商業栽培されている遺伝子組み換え作物の天候ストレスに対する成績はいまのところかんばしくない。

- 極端な気温の変動によって、中国のBtコットン（殺虫性遺伝子組み換えコットン）の収量に損失が出た。この原因を調査した研究者たちによれば、おそらく高温（37℃）がBtコットン畑の落葉の原因だろうという（Chen他 2005）。また別の研究者たちは、例年になく生育期初めに寒冷な期間があったため、Btコットンがもつ害虫への毒性機能が弱まったことをつきとめた（Gunning他 2005）。
- 除草剤耐性の遺伝子組み換えダイズでは、1998年春のアメリカで起こった猛暑時に予想外の損害が出た。遺伝子組み換えのラウンドアップ適応ダイズは、高温下では従来種よりずっと生育が悪い。遺伝子組み換えダイズのほうが茎がもろくより簡単に裂けるため、病原菌の侵入を許してしまったのである（Coughlan 1999）。
- 現在市場に出回っている、除草剤耐性の遺伝子組み換えダイズは、従来種に比べて収量が最大10%下がったとの報告がある（Elmore他 2001）。除草剤の大量使用とこうした遺伝子組み換え作物栽培によって、雑草の除草剤耐性がすでに高まっている（Nandula他 2005）。たとえば、アメリカでは2000年以降、9種の雑草に除草剤グリホサートへの耐性が見られるとの報告が34件ある（www.weedscience.org）。この対処法として、農家はより強力な除草剤散布（Monsanto 2008b）や、数種類の除草剤を散布する（Brooks 2003）ことを推奨されておりそのぶん経費がかさむことになる。

たとえ今後10～20年の間に高温環境に強い遺伝子組み換え作物ができたとしても、極度の寒さ、季節はずれの雨や干ばつにさらされたら何が起ころうか？ たった一つの遺伝子では、さまざまな条件に対抗できる防御手段を備えることはできない。現在、流通しているストレス耐性を備えた遺伝子組み換え作物は、植物のライフサイクルを通じ単一の遺伝子情報を過剰に発現させようとして、粗雑ともいべき技術で作られたものが大半である（Garg他 2002）。この技術は、自然界の植物において遺伝子発現の抑制を行うゲノムネットワークとは比較にならないほどお粗末だ。自然の植物では、状況に応じて遺伝子が起動したり、休止したりしながら、一生を通じて遺伝子の活動が調整される。

一方、遺伝子組み換え植物に挿入された遺伝子は、その植物のあらゆる部位においてつねに起動状態となり、それ以外の制御は効かない。これはちょうど、スイッチが入りっぱなしで全力運転を続けるエアコンに似ており、冬までには息切れしかねない。

要約すると、遺伝子組み換え作物は

- 極端な天候の変化に対しては安全が保証されえない。樂觀的に考えれば、高温や干ばつといった一種類のストレスには抵抗力があるかもしれないが、予測されているような急激で深刻な天候の変化には耐えられないだろう。
- 組み換えられた遺伝子をうまく抑制する方法がなく、そのため状況の変化に対応することができないだろう。
- 種が高価なため、ほとんどの場合、単一作物栽培されることになるだろう。単作は天候の変化やきびしい天候のもとで、打撃を受けるリスクがもっとも高い。

遺伝子組み換え技術の限界、自然界のさまざまな環境ストレスにどう対処するかについて私たちの知識が限られていることを考えると、単一の形質ばかりに注目して、自然の制御システムが機能しない遺伝子組み換え作物は、気候変動のもとでは食の安全に対する脅威となる。予測の難しい気象現象によって全滅するような遺伝子組み換え作物を大規模に単一栽培することは、かならず大惨事を招くだろう。

結論

生物多様性を保った農業が、気候変動に適応するための有効な戦略であることは実証済みだ。これによって私たちはよりいっそう予測の難しい状況に直面しても、食料生産量を維持ないし増産できるような農地を作り出すことができる。一方、遺伝子組み換え作物は、植物と自然環境の相互作用や複雑な遺伝子の発現調整における欠陥を本質的に抱えており、信頼性においても長期的観点からも、気候変動に適応できそうもない。この結論は、ミレニアム開発目標を達成し、飢餓を撲滅するには遺伝子組み換え作物は不適切であるという、最近のIAASTDの報告書にも反映されている。

農業は今後、温暖化によって悪影響をこうむるだけでなく現状では温室効果ガスの実質的な排出源でもある。農業からの温室効果ガス排出を減少させ、土壌中の炭素を増やす農業技術を使うことによって、農業そのものが気候変動の緩和に寄与しうる（Bellamy, J他 2007）。事実、生物多様性を重視した農法の多くは、土壌中の炭素を増加させるとともに、極端な天候に対する適応能力がより大きいため、温暖化の緩和策であると同時に気候変動への適応策にもなっている。

気候変動のもとで私たちの食料安全保障を高めるためには政策立案者（政治家）たちがIAASTDの推奨に従い、現代的で効率の良い、生物多様性を生かした農業につながるような農業の研究開発に投資することが必要だ。遺伝子組み換え作物に一方的に偏ることは、農業がいかに気候変動に適応すべきかについてのあらゆる科学的研究成果と矛盾し、同時に世界の食料安全保障に対する長期的な脅威にもなっている。

参考文献

- Altieri, M.A. 1990. Agroecology. In: Agroecology (eds Carrol, C.R., Vandermeer, J.H. and Rosset, P.M.) 551-564. McGraw Hill, New York.
- Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., Smith, P. 2007. Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential. Greenpeace International, The Netherlands.
<http://www.greenpeace.org/international/press/reports/coolfarming-full-report>.
- Brooks, R.J. 2003. Saving glyphosate. Farming Industry News, 1 February.
http://farindustrynews.com/mag/farming_saving_glyphosate/index.html
- Brown, M.E., and Funk C.C. 2008. Food security under climate change. *Science* 319: 580-581.
- Chapin, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C. and Diaz, S. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242.
- Chen, D., Ye, G., Yang, C., Chen, Y. and Wu, Y. 2005. The effect of high temperature on the insecticidal properties of Bt cotton. *Environmental and Experimental Botany* 53: 333-342.
- Coghlan, A. 1999. Splitting headache: Monsanto's modified soya beans are cracking up in the heat. *New Scientist*, 20 November, 25.
- Di Falco, S. and Chavas, J.-P. 2006. Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 33: 289-314.
- Di Falco, S. and Chavas, J.-P. 2008. Rainfall shocks, resilience, and the effects of crop biodiversity on agroecosystem productivity. *Land Economics* 84: 83-96.
- Diaz, S., Fargione, J., Chapin F. S. and Tilman, D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4: 1300-1306
- Durable Rust Resistance in Wheat 2008. Project Objectives.
<http://www.wheatrust.cornell.edu/about/>
- Elmore, R.W., Roeth, F.W., Nelson, L.A., Shapiro, C.A., Klein, R.N., Knezevic, S.Z. and Martin A. 2001. Glyphosate-resistant soybean cultivar yields compared with sister lines. *Agronomy Journal* 93: 408-412.
- Fraser, E. 2007. Travelling in antique lands: using past famines to develop an adaptability/resilience framework to identify food systems vulnerable to climate change. *Climatic Change* 83: 495-514.
- Garg, A. K., Kim, J.-K., Owens, T. G., Ranwala, A. P., Choi, Y. D., Kochian, L. V. and Wu, R. J. 2002. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 15898-15903.
- Hajjar, R., Jarvis, D.I. and Gemmill-Herren, B. 2008. The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture Ecosystems & Environment* 123: 261-270.
- Hughes, A.R., Inouye, B.D., Johnson, M.T.J., Underwood, N. and Vellend M. 2008. Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology Letters* 11: 609-623.
- International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development (IAASTD) (in press) www.agassessment.org.
- Kotschi, J. 2007. Agricultural biodiversity is essential for adapting to climate change. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 16: 98-101.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., and Naylor R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607-610.
- Mackenzie, D. 2007. Billions at risk from wheat super-blight. *New Scientist*, 7 April, 6-7.
- McNaughton, S.J. 1977. Diversity and stability of ecological communities: a comment on the role of empiricism in ecology. *The American Naturalist* 111: 515-525.
- Monsanto 2008a. R&D pipeline at a glance.
<http://monsanto.com/products/pipeline.asp>
- Monsanto 2008b.
http://www.monsanto.com/monsanto/ag_products/crop_protection/products/roundup_power_max.asp. Roundup PowerMAX. is advertised as "proven on hard-to-control weeds such as velvetleaf, lambsquarters, purslane, kochia and morning glory".
- Morton, J.F. 2007. Climate change and food security special feature: the impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19680-19685.
- Nandula, V.K., Reddy, K.N., Duke, S.O. and Poston, D.H. 2005. Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management* 16: 183-187.
- Nitta, T. 1991. Diversity of root fungal floras: its implications for soil-borne diseases and crop growth. *Japan Agricultural Research Quarterly* 25: 6-11.
- Olsen, K.M., Daly, J.C., Finnegan, E.J. and Mahonr, R.J. 2005. Changes in Cry1Ac Bt transgenic cotton in response to two environmental factors: temperature and insect damage. *Journal of Economic Entomology* 98: 1382-1390.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E., (eds.) 2007. Summary for Policymakers. In: *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, 7-22.
- Reusch, T. B. H., Ehlers, A., Hammerli, A. and Worm, B. 2005. Ecosystem recovery after climatic extremes enhanced by genotypic diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 2826-2831.
- Sasaki, T. 2006. Rice in deep water. *Nature*, 442:635-636 (news article).
- Schmidhuber, J. and Tubiello, F.N. 2007. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19703-19708.
- Smith, R.G., Gross, K.L., and Robertson, G.P. 2008. Effects of crop diversity on agroecosystem function: crop yield response. *Ecosystems* 11: 355-366.
- Xu, K., Xu, X., Fukao, T., Canlas, P., Maghirang-Rodriguez, R., Heuer, S., Ismail, A.M., Bailey-Serres, J., Ronald, P.C., Mackill, D.J. 2006. Sub1A is an ethylene response factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. *Nature*, 442: 705-708.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T. W., Teng, P.S., Wang, Z. and Mundt, C.C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-722.
- Zhu, Y.Y., Wang, Y.Y., Chen, H.R. and Lu, B.R. 2003. Conserving traditional rice varieties through management for crop diversity. *Bioscience* 53: 158-162.

GREENPEACE

グリーンピースは、「グリーン（持続可能）」で「ピース（平和）」な社会を実現するために活動する国際環境NGO（非政府組織）です。豊かな生命をはぐくんできた地球を守るため、生物多様性の保護、海・大地・大気・淡水の汚染や乱用の防止、あらゆる核の威厳の終結、そして、世界的な平和と軍縮をめざしています。

2008年7月発行

制作：グリーンピース・インターナショナル

日本語制作・発行：

特定非営利活動法人グリーンピース・ジャパン

〒160-0023

東京都新宿区西新宿8-13-11 NFビル2F

TEL：03-5338-9800

FAX：03-5338-9817