



農薬と健康

高まる懸念

June 2015

RESEARCH LABORATORIES

GREENPEACE

目次

要旨	3
特に曝露が多い集団または脆弱な集団	4
広がる健康影響	4
解決策 - 生態系農業	5
1. 緒言	6
1.1 農業における農薬	6
1.2 どのような経路で農薬に曝露しているのか	9
1.3 特に曝露が多い集団または脆弱な集団	15
2. 農薬の曝露と関連づけられた健康への影響	18
2.1 出生前（胎児）および乳幼児期の曝露による影響	18
2.2 農薬と成人のがん	26
2.3 農薬と神経系の障害	30
2.4 免疫系への影響	33
2.5 内分泌系への影響	33
2.6 農薬中毒	34
3. 工業型農業 - 野生生物生息地に及ぼす影響	36
4. 結論	38
5. 解決策	40
6. 参考文献	44

要旨

1950年以来、世界人口は倍増したが、その人口に供給する食料生産に利用できる耕地面積の拡大はわずか10%にとどまっている。土壌から栄養が奪われ、劣化が進行する耕地で、食料を低価格で供給しなければならないという厳しい状況になっている。肥料と農薬という外部から投入する手段に頼ることは、大規模な商業的集約農業システムのための短期的解決策にすぎない。

合成農薬は1950年代以来、世界中の工業型農業で広く使われてきた。これら初期の農薬の多くは残留性が高く、長年広い地域で繰り返し使用された結果、環境の隅々にまで蔓延するに至った。特にDDTとその代謝物などの農薬は分解に非常に長い期間を要し、数十年前に使用が禁止されたにも関わらず、現在の環境中でごく普通に見つかるほどである。

このような残留性や野生生物への潜在的な有害性から、農薬の悪影響をめぐる因果関係についての研究が過去30年間に急増した (Köhler and Triebkorn, 2013)。現在、農薬の悪影響は広く、多様であることが明らかになっている。同時に、農薬が人の健康に与える悪影響やその作用機序に関する科学的理解も急速に進歩し、農薬の曝露と発達障害、神経系と免疫系の障害、一部のがんのリスク上昇との間の統計的関連性を明らかにする研究結果も発表されてきている。

とはいえ、特定の農薬の曝露が人において疾患や障害を引き起こすと確実に証明することは、かなりの難問である。農薬に全く曝露したことがない人の集団というようなものは存在せず、また、ほとんどの疾患には複数の原因があり、公衆衛生上の評価は相当複雑になる (Meyer-Baron et al. 2015)。さらに、人は日常生活の中で、多数の曝露経路を通じ、農薬だけでなく、絶えず増え続ける混合状態の合成化学物質に複合曝露している。農薬はこうした化学物質による負荷をさらに増大させる一因である。

OECD加盟国の最近の調査 (2008年) では、日本の単位面積当たりの農薬使用量は韓国について2位と極めて多い。2002年の調査では1位で、当時OECDからも農薬使用量が多いことが指摘されている。また、農薬残留基準も欧州に比べ緩いものが多く、種類によっては100倍を超えるほど緩い場合もあるのが現状である。実際に一般人が日常的に多種類の農薬曝露を受けていることが環境省の調査「日本人における化学物質のばく露量について」*から明らかとなっており、複数の有機塩素系農薬やある種の有機リン系農薬代謝物は、検査した全員から検出されている。

* 「日本人における化学物質のばく露量について」化学物質の人へのばく露量モニタリング調査 (2011～)

<http://www.env.go.jp/chemi/dioxin/pamph.html>

特に曝露が多い集団または脆弱な集団

一般に人は摂取する食品を通じ、毎日、種々の組み合わせの農薬に曝露している。農薬が使われる農業地域では、撒かれた農薬は空中を浮遊し、土壌と水路を汚染し、農薬の標的ではない植物種にも必然的に吸収される。都市部では、レクリエーション施設などで農薬が散布されるため、近隣住民は混合状態の農薬の曝露を受ける。さまざまな家庭用害虫駆除剤の日常的な使用も住宅と庭の汚染につながる。

特に曝露が多い集団や脆弱な集団は次の通りである：

- ・ 作業中に大量の農薬に曝露する農業労働者と農薬散布者、特に温室で作業を行う人。これはそのような労働者の血中と毛髪中から検出される濃度により明らかである。
- ・ 胎児と乳幼児。妊婦が農薬に曝露すると、これらの農薬は子宮内の胎児に直接到達することがある。発達期の胎児は農薬の有害な影響に対して特に脆弱である。よちよち歩きの幼児とハイハイをする赤ん坊は、家の中の様々なものに触り、手を口に入れることが多く、曝露する可能性が高いため、乳幼児は一般に、成人よりも影響を受けやすい。また、小児は成人よりも体が小さく、体内で有害物質を代謝する能力が低い。

広がる健康影響

子宮内で高濃度の農薬に曝露した子どもでは、認知発達の遅れ、行動への影響、先天異常などの健康への影響が報告されている。また、農薬の曝露と小児白血病の発生率の間には強い相関関係がある。

農薬の曝露の増加が、複数のがん（前立腺がん、肺がん、その他）やパーキンソン病、アルツハイマー病などの神経変性疾患の発生率上昇を示す複数の研究結果もある。農薬が体内の正常な内分泌系および免疫系の機能を妨げることを示唆する証拠も得られている。そうした障害の作用機序はよくわかっていないが、あるケースでは、細胞レベルの酵素機能や重要なシグナル伝達系が妨げられることが明らかになっている。農薬は、DNAにエピジェネティックな変異^{*1}を起こして正常な遺伝子発現を妨げることがあるが、その変異が農薬に曝露していない世代に引き継がれることも示唆されている。つまり、農薬による悪影響は、その物質の使用が禁止された後にも、きわめて長期的に子孫にまで続く可能性がある。

このレポートでは、農薬の健康影響として、「確定した既知の影響」と「疑われる影響」の両面から、急増している研究例について考察する。不確実な要素や未知の要素が避けられないことや、相反する研究結果や発展途上の研究も含め、このレビューでは、現在、工業型農業、特に化学合成農薬の使用が、いかに農業労働者とその家族、さらにはより広範な集団の健康に悪影響を与えているかを示す研究報告を総合的に評価する。健康に対して潜在的危険性がある多数の農薬の中には、現時点で認可を受けている有機リン系殺虫剤、クロルピリホス、マラチオンも含まれている。クロルピリホスは食品中や、人の母乳からも検出され、公衆衛生分野の研究では、多種類のがん、小児の発達障害、神経機能障害、パーキンソン病、化学物質過敏症との関連性を示す強い証拠が得られている。

^{*1}（訳注）エピジェネティクスとはDNA塩基配列の変化を伴わない遺伝子の発現制御現象の総称で、特にDNAの修飾（メチル化）などは一旦起こると影響が長く続き、領域によっては次世代に伝わるため注目されている。ある有機塩素系農薬は、このエピジェネティックな変化を起こし、次世代に障害をもたらすことが報告されている。

解決策 — 生態系農業

有害な農薬への曝露を減らすための唯一の確実な方法は、これまでよりも長期的視野に立ち持続的な食料生産方法への移行である。そのためには、標的ではない生物に対して有害なすべての農薬の段階的禁止を直ちに着手する法的拘束力のある協定を、国内レベルと国際レベルの両面で施行する必要がある。農業の在り方の抜本的改革には、化学物質の投入に強く依存する工業型農業から生態系農業（自然の生態系を保全し持続可能な環境保護型農業）の全面的な実施へと移行すること、すなわち、生態系農業を人間の食料供給および私達が生存する生態系を守るための唯一の手段とするというパラダイムシフトが必要である。生態系農業は、有害な化学物質に依存せず、健康的で安全な食料を供給する、現代的かつ効果的な農業の方法である。



生態系農業で育てているそら豆 ギリシャの農産物の中でも主要なタンパク源作物
© Greenpeace / Panos Mitsios

1. 緒言



防護服を着けずマスクのみで、
温室内の野菜に農薬を撒く農業
労働者（スペイン）
© Greenpeace / Ángel Garcia

1.1 農業における農薬

世界中の農業で合成化学物質の農薬が使われ始めたのは1950年代のことであるが、使われる農薬の種類と多様性は時代につれて変化してきた。当時、有機塩素系、有機リン系、カーバメート系、ピレスロイド系の農薬が世界市場に導入され、工業型農業、別名「緑の革命」の到来を告げた。それから数十年、別のタイプの農薬（例えばネオニコチノイド系）が世界市場に導入され、工業型農業は害虫と病気から作物を守り、収量を確保または引き伸ばすために、合成化学物質への依存をますます強めてきた。

テキストボックス1で、現在の工業型農業で使われている農薬の一部を紹介する。農薬の主な種類についても以下に挙げる。

Text Box 1.

農薬とは何か

「農薬」－ 農作物の「害虫」や疫病の原因を殺すための薬剤。合成化学農薬は、昆虫、菌類、カビ、雑草などの有害生物の防除に使用する化学物質またはその混合品である。これらの物質は一般に「植物保護剤」とも呼ばれる。

それらは以下の例のように、標的有害生物によって分類されることも多い：

殺虫剤－ 有害昆虫を防除する

除草剤－ 雑草を防除する

殺菌剤－ 有害菌類を防除する

これらのグループを総合すると、個々の活性成分、製剤、ブランドは膨大な数に上る。農薬は化学的な種類に従い分類されることもある。例えば、有機リン系、有機塩素系、カーバメート系、ネオニコチノイド系などの農薬である。

1.1.1 農薬の種類

・ 有機塩素系農薬

1950年以来、農業および公衆衛生目的で使われてきたが、人をはじめ標的以外の生物種に対する毒性が確認された製品の使用は、厳しく制限されるか、または完全に禁じられている。有機塩素系農薬の多くはきわめて安定した化合物であるため、自然には分解されず、環境中での残留性が高い。このため、2001年のストックホルム条約により残留性有機汚染物質（POPs）として指定された化学物質には有機塩素系農薬が複数入っている。その後、一部の有機塩素系化合物の環境レベルは低下したが、いまだに多くの有機塩素系農薬が土壌、河川堆積物、海洋沿岸堆積物、さらに遠く深海、極地までも含む広い生態系区域で、汚染物質として確認される（Willet et al. 1998）。

主な有機塩素系農薬：四塩化炭素、クロルデン、DDT、DDE（DDTの分解物）、ディルドリン、ヘプタクロル、 β -HCH、 γ -HCH。（注：これらはいずれも現在、EU域内での使用は不認可）。

・ 有機リン系農薬

軍事用神経ガスの研究に、ある種の有機リン系化合物が殺虫力を持つことが発見され、第二次世界大戦以降、多数の有機リン系農薬が農業用に商品化されてきた。有機リン系農薬には多様な化学構造がある。これら有機リン系農薬は中枢神経系および末梢神経系に必須の酵素（アセチルコリンエステラーゼ）を阻害し、毒性を発揮して殺虫効果を上げるが、それは標的以外の生物種に対して有害な影響の原因となる特性でもある。

主な有機リン系農薬：アセフェート、クロルピリホス、クマホス、ダイアジノン、ジクロルボス、ホノホス、パラチオン、馬拉チオン、メチルパラチオン、ホスメット。（注：クロルピリホスと馬拉チオンは現在、EU域内での使用が認可され、米国では住宅での使用が禁止されている。）

・ カーバメート系農薬

一般的に神経毒性があり、アセチルコリンエステラーゼ阻害剤でもある。一部は人の発達に対する悪影響と関連づけられ、乳幼児と小児の両方に影響を与える（Morais et al. 2012）。

主なカーバメート系農薬：アルジカルブ、カルバリル、メチオカルブ、ピリミカルブ、マンネブ、マンコゼブ（両方ともジチオカーバメート）、EPTC（チオカーバメート系除草剤）。（注：メチオカルブ、ピリミカルブ、マンネブ、マンコゼブは現在、EU域内での使用が認可されている）。

・ 合成ピレスロイド系農薬

細胞のシグナル系（イオンチャンネル）に干渉する。一部は男性生殖機能に対する悪影響と関連づけられ、内分泌かく乱物質の疑いがある（Koureas et al. 2012）。

主なピレスロイド：シハロトリン、シベルメトリン、デルタメトリン、ペルメトリン。（注：シベルメトリンとデルタメトリンは現在、EU域内での使用が認可されている）。

・ ネオニコチノイド系農薬

新しいタイプの農薬。例えばイミダクロプリドが最初に商品化されたのは1985年である。このタイプの物質はニコチンと似た構造を持ち、特定の細胞シグナル経路を遮断する。また、神経発達にも悪影響を与える（Kimura-Kuroda et al. 2012）。野生と飼育の両方のハチに対する毒性の疑いにより、欧州委員会は使用に一定の制約を設けている。

主なネオニコチノイド：クロチアニジン、イミダクロプリド、チアメトキサム。

・ クロロアセトアミド

発生異常の原因。アラクロールとメトラクロールはどちらも、EU域内での認可が取り消された。

・ パラコート

神経毒性をもつ除草剤。光合成を阻害する。EU域内での使用認可は取り消された。

・ グリホサート

除草剤Round-up（ラウンドアップ）の活性成分。植物の特定の酵素を阻害する。健康への影響については、まだ議論が続いているが、国際がん研究機関（IARC）は最近、グリホサートをクラス2A「人に対しておそらく発がん性がある」に分類した（Guyton et al. 2015）。この分類の根拠として、人に関する証拠（特に、非ホジキンリンパ腫との関連性に関して）は限定的であるが、動物では確定的な証拠が得られているとしている。また、人細胞株における内分泌かく乱効果および生殖機能への影響が疑われる（Gasnier et al. 2009, Cassault-Meyer et al. 2014）。グリホサートは世界中で広く使用され、農業、林業、都市、住宅での用途に関する750種類以上の製品の活性成分である。グリホサートの影響に耐えられるよう遺伝子を操作したラウンドアップ・レディ（ラウンドアップ耐性のある）作物の導入に伴い、グリホサートの使用量が急増した。

・ さまざまな化学構造を持つその他の農薬

欧州連合域内での使用が認可されている（他の地域でも使われている）その他の農薬：アバメクチン、アゾキシストロビン、ボスカリド、カプタン、シプロジニル、ジカンバ、ジニトロール、フィプロニル、ペンジメタリン、ピリメタニル。EU域内では使用が不認可の物質（その一部は他の地域では認可されているか、またはそれ以外の理由で使用されている場合がある）：ベノミル、二硫化炭素、二臭化エチレン（1,2 -ジブromoエタン）、イマゼタピル、トリフルラリン。虫よけとして、また、一部の農薬製剤（カーバメートを含む）で殺虫共力剤として使われるジエチルトルアミド（ディート*2）は、EUの規制物質に指定されていない。

*2（訳注）日本ではディートは農薬登録されておらず、昆虫忌避剤として虫除けなどに使われている

1.2 どのような経路で農薬に曝露しているのか



1.2.1 食物を通じた曝露

残留農薬は集約的な工業型農業で栽培された食物中に普通に存在する。食物は複数の残留農薬を含んでいることが多く、従って、農薬はカクテルのような混合物として存在することが確認されている (Fenik et al. 2011)。混合した農薬の複合毒性は知見がとりわけ少ないが、ある農薬間では相乗作用が働き、それらの複合影響が個々の農薬の影響よりも大きいことが確認されている (Reffstrup et al. 2010)。潜在的な組み合わせの数と、起こりうる相互作用を考慮に入れると、残留農薬の混合物の毒性評価はきわめて複雑になる。

Sutton et al. (2011) は、米国の典型的な食生活をとる一般集団では、食物中の残留農薬の累積曝露が極めて高くなる可能性があることを示した。おそらく他の国でも同様であり、農薬の繰り返し摂取、特に脂溶性（脂肪に溶解蓄積する）で時の経過とともに体内に蓄積する農薬の摂取を考慮すると、憂慮される。

果実と野菜に含まれる農薬

農薬は果実と野菜の商業生産で広く使われる。散布した農薬は、作物が市場に運ばれるときも、作物の内部や表面に残留している。長年の研究により、食品中の残留農薬の濃度を測定する多様な技法が開発され、その結果、市場に届く作物に含まれる残留農薬が規定値を超えないようにするために、継続的なモニタリングが必要であることを示した (Wilkowska and Biziuk 2011; Li et al. 2014)。ほとんどの国で、国または地域レベルで、各農薬に最大残留基準値 (MRL) を定め、それを超えた食品は人の摂取に不適と見なされる。欧州連合では、欧州域内に適用される MRL 上限値を指定し、日本では国内で適用される残留基準値が規定されている。

2007～2014年に発表された複数の文献で、マメ類、葉物野菜、リンゴやブドウなどの果実で、しばしば残留農薬の濃度が最も高いことが示された (Bempah et al. 2012; Jardim et al. 2012; Fan et al. 2013; Yuan et al. 2014)。これらの作物では、複数の残留農薬がよく普通に検出され、国によっては MRL 上限値を超えていることも多いことが明らかとなった (Latifah et al. 2011; Jardim et al. 2012)。多数の農薬の中で、シベルメトリン、クロルピリホス、イプロジオン、ボスカリド、ジチオカーバメート、アセフェートが、食品中で通常に検出される (Claeys et al. 2011; Lozowicka et al. 2012; Yuan et al. 2014)。広範な研究により、植物の表面に付着した残留農薬の一部は、野菜の洗浄と調理により減少することが示唆されているが、逆に、場合によっては、調理により濃縮されることもある (Keikotlhaile et al. 2010)。

魚に含まれる農薬

有機スズ類は1970年代から農業で殺菌剤、殺生物剤として広く使われてきた。有機スズ（主にトリブチルスズ（TBT））は、小型船舶と大型船舶で防汚塗料としても広く使用され、多数の沿岸水域を広く汚染し、その結果、2001年の船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約（AFS条約、2008年に発効）に従い、国際海事機関により国際的に使用が禁止された。

世界の海洋環境での有機スズ汚染に関する研究では、陸上で農薬として使われるトリフェニルスズ（TPT）が、堆積物でよく見つかる汚染物質でもあるという結果が得られた（Yiet al. 2012）。フェニルスズは海洋生物により代謝・分解されにくく、そのまま生体内に蓄積し、海洋食物連鎖を通じて濃縮される潜在的可能性がある。有機スズ濃度は、水産物を多く摂取する人の血中で特に濃度が高く、公衆衛生上の目的から、これらの物質の定期的濃度測定の実施が提案されている（Yi et al. 2012）。

畜産物に含まれる農薬

飼料の残留農薬汚染やノミ、シラミなどの害虫駆除剤（動物医薬品）の投与により、家畜の体内にも農薬が蓄積する。これらの農薬は一般に、動物の脂肪と筋肉に蓄積するが、一部は脳、肝臓、肺、その他の内臓からも検出される（LeDoux 2011）。

養鶏と鶏卵生産ではしばしば、ワクモなどの外部寄生生物の駆除に殺虫剤と殺ダニ剤を使用する。その結果、これらの農薬の一部は筋肉、脂肪、肝臓に蓄積し、他の組織から農薬が排出されてからかなりの時間が経過した後も、卵から検出されることがある（Schenck and Donoghue 2000）。



リンゴの大規模農園での農薬散布（ドイツ・ハンブルク近郊）

© Greenpeace / Christian Kaiser

同じく牛乳などの乳製品にも、生体内で濃縮して動物の脂肪組織に蓄積した各種の農薬が含まれる。

牛乳は食生活で重要な位置を占めることが多く、特に小児により広く摂取されるため、極めて憂慮される。

有機栽培食品と工業型農業栽培食品の比較

ほとんどの小児は主に食品を通じて農薬に曝露するので、有機栽培食品を与えられた小児では、従来の工業型農業栽培食品を与えられた小児よりも、一貫して尿中残留農薬濃度が低いことが確認されている (Forman et al. 2012)。

Lu et al. (2006) は米国シアトルで、3~11歳の小児の尿中の有機リン系農薬代謝産物を調べた。小児に5日間、通常の食品を与えた後、5日間、有機食品を与えた。モニタリングの結果、後半の5日間に小児が有機食品を摂取した後、農薬である馬拉チオンとクロルピリホスの濃度が、急速に検出限界以下に低下した。再度、従来の食品を小児に与えると、尿中の有機リン系農薬代謝産物の濃度は再び上昇した。

この研究で小児の食事に使用した有機食品は、新鮮な果実と野菜、ジュースなどに加工した果実または野菜、小麦とトウモロコシを用いた食品である。この地方の工業型農業で生産された食品は通常、有機リン系農薬を含むことが報告されており、小児はほぼ間違いなく、汚染された食品を介してクロルピリホスと馬拉チオンに曝露したことが確認された (Lu et al. 2006)。

1.2.2 農地と都市への農薬散布による曝露

農地や市街地に散布された農薬は、散布中に空中に拡散し、大気中で長距離を移動することがある。例えば、米国で実施された研究では、よく使われる数種類の農薬が、散布した農地からかなり離れた場所で検出されることが明らかになった。散布現場から10~150メートル離れた箇所でもまだ、ダイアジノンやクロルピリホスなどの農薬が政府の安全基準値 (Reference Exposure Levels for Air大気に関する曝露基準値) を超過していた (Sutton et al. 2011)。従って、農村住民の間では、散布後に移動した農薬を吸い込み、農薬の曝露が増大する可能性がある。同様に、公園、市街地、住宅に農薬を散布したときも、汚染された大気を吸い込むことで曝露することがある。

1.2.3 住宅内の粉塵、スプレー、庭の土壌を介した曝露

住宅内の粉塵は農薬などの多数の化学物質により汚染され、住宅の害虫駆除に殺虫剤を頻繁に使用する場合は特にそうであることがわかっている (Naehrer et al. 2010)。家庭での害虫駆除に使われる主な物質はピレスロイド系のペルメトリンとシフルトリンで、クロルピリホスが使われることもある。汚染粉塵の摂取、吸引、皮膚接触は、農薬に対する継続的で多様な曝露の原因になる (Morgan et al. 2007, 2014; Starr et al. 2008)。農業地域内に位置する住宅、特に農薬を散布する土地の近辺の住宅では、汚染が増大していることが示された (Harnly et al. 2009)。一方、都市部でも、家庭内で利用した殺虫剤が残留し、埃に殺虫剤などの農薬汚染があることは潜在的な問題である (Naehrer et al. 2010; Muñoz-Quezada et al. 2012)。



白菜への農薬散布（中国・河北省）

© Greenpeace / LiGang



リンゴ農園での農薬散布（インド）

© Greenpeace / Peter Caton

農業者と
その家族



母乳で育つ乳児

胎児や新生児



特に農薬の
曝露または影響
を受けやすい人



2~4歳児



汚染を避けるための対策を講じたとしても、だれもが何らかのレベルの農薬に曝露している。

しかし、特別な状況や特性が原因で、農薬への曝露が特に多い人、または有害な影響に対する感受性が特に高い人がいる。それはこのような人たちだ。

1.3 特に曝露が多い集団または脆弱な集団

1.3.1 農業労働者

農業労働者とその家族の間では、一般集団よりも農薬への曝露レベルが高いことがある。曝露レベルは農薬を散布する農業労働者（農薬散布者）で最も高いが、温室労働者の間でも、曝露レベルは非常に高い。

農業労働者の毛髪に残留農薬を調べた欧州の研究では、除草剤と殺菌剤を含む33種類の農薬が確認された。最も頻繁に検出された農薬はピリメタニル、シプロジニル、アゾキシストロピンであり、使用した農薬の種類や方法との間に相関関係があった。農場での担当作業の種類に関わりなく、全被験者で同等濃度のp,p'-DDEおよび γ -HCH（現在は使用されない）が検出され、環境中での残留性が高い有機塩素系への長期曝露が示された（Schummer et al. 2012）。



紙マスクをかけただけで防護衣を着けずに、温室内で野菜に農薬をまく労働者
（スペイン）

© Greenpeace / Ángel García

これらの結果は、農薬散布作業員が適正な安全対策を講じていても、既に禁止され使用されていない有機塩素系農薬にいまだに曝露していることを意味する。いま盛んに使われている有機塩素系農薬より分解しやすい農薬の体内での寿命は不明だが、使用と曝露が定常的に繰り返されるのであれば、体内にとどまらずとも曝露は常時起きていると考えられる。

農村に住む農業労働者の家族においても、農薬への曝露が一般の平均値よりもやや高い場合がある。これは農家周辺の耕地から流れてくる散布農薬に加え、農業労働者が汚染された服と靴を作業後に自宅に持ち帰ることが原因である。乳幼児と小児は成人よりも農薬の有毒な影響に対して脆弱と考えられ、これは特に憂慮される (Arcury et al. 2007)。

1.3.2 小児、乳幼児、子宮内での曝露

妊婦と授乳中の母親が農薬に曝露すると、その子どもも曝露する可能性が高い。農薬は胎盤を通過し、子宮内の胎児に到達し、また母乳を通じて乳児の体内に入ることがある。発達の初期には、小児の器官形成と成長が進行しているので、有害化学物質の影響を非常に受けやすい。例えば、小児の発達中の脳は、神経毒性を持つ物質の影響を受けやすく、また小児は体が小さいため、単位体重あたりの摂取量は高くなる (Weiss 2000)。加えて、小児では農薬を解毒する酵素の濃度と活性が低い (Holland et al. 2006)。

母乳の汚染

母乳は離乳前の幼児にとり最高の栄養源であり、特に、病気からの保護に不可欠な因子が、母乳を通じて母から子どもに受け渡される。乳児の発育途上で最も感受性が高い時期に授乳が行われることを考慮すると、有害化学物質による母乳の汚染を最小限に抑えるか、または可能な限り避けることが不可欠である。しかし、さまざまな国で実施される母乳の分析データは、農薬による汚染がいまだに問題であることを示している。

特に有機塩素系農薬は、日常的な食生活での摂取により体脂肪や脂肪の多い母乳中に濃縮されることが知られている。有機塩素系農薬は残留性が高く環境

中に広く汚染しているため日々、人の体を汚染し続けている。疫学的研究により、これらの化学物質は人の発達に対する悪影響と統計学的に関連づけられている。台湾で実施された研究では、2000年から2001年の期間全体を通じ、女性の母乳試料から有機塩素系農薬が検出された (Choa et al. 2006)。母乳試料から主に検出された農薬は、p,p'-DDE、p,p'-DDT、 α -クロルデン、ヘプタクロルエポキシド、ヘプタクロル、 β -HCH、 γ -HCHである。コロンビア、韓国、ドイツなど、世界の他の地域で実施された研究からも、同様の結果が報告されている (Lee et al. 2013a; Raab et al. 2013; Rojas-Squella et al. 2013)。これらの物質の使用が禁止されてからある程度の期間が経過した多くの国で、現在、母乳中のこれら残留性の有機塩素系農薬のレベルが低下しつつあることを示唆する研究結果が得られている (Ulaszewska et al. 2011)。食事はいまだに曝露を制御する主な要因であり、特に魚の摂取量が多い地域において重要である (Solomon and Weiss 2002)。

世界の多数の地域の農業で、いまだに普通に使われている有機塩素系農薬として、リンデンとエンドスルファンがある。2003年に発表されたインドの研究では、ボパールの女性の母乳試料から高濃度のエンドスルファンが検出された (Sanghi et al. 2003)。世界保健機関 (WHO) は、毒性に関する知識に基づき「許容範囲内」と見なされる母乳中の農薬濃度基準値 (一日許容摂取量 (ADI) と呼ばれる) を定めている。Sanghi et al. (2003) は、エンドスルファンの濃度が当時 WHO ADI の8.6倍であったと報告した。これらのインド人女性の母乳からはリンデンも検出された。

有機リン系農薬および合成ピレスロイドは環境中に残留しないと考えられているため、母乳中の濃度についてはほとんど研究例がない。しかし、複数の研究により、これらの農薬が人の母乳を汚染することが明確に示されており、有機塩素系農薬の濃度は低下しているものの、厳しく規制された農薬の代わりに、有機リン系農薬および合成ピレスロイドが使用されるようになり、母乳からこれらの物質が検出されるようになったことが指摘された。Sanghi et al. (2003) は、ボパールの女性の母乳中に、マラチオンに加え、有機リン系農薬の

1種であるクロルピリホスを高濃度、確認した。この研究では、母乳中のクロルピリホス濃度がWHO ADI の4.1倍であった。米国でのさらに最近のパイロット試験でも、母乳からクロルピリホス、クロルピリホスメチル、カーバメート系殺虫剤のプロポクスルが検出された (Weldon et al. 2011)。

Sharma et al. (2014) は、インドでの母乳汚染物質に関する研究で、合成ピレスロイドの1種であるシフルトリンが最も頻繁に検出されたと報告した。この研究では、乳児の健康に対して危険な濃度が検出されている。さらに、スペイン、ブラジル、コロンビアの都市と農村の両方から採取された母乳試料からも、合成ピレスロイドが検出された (Corcellas et al. 2012)。これらの結果は、この種の農薬が急速に代謝するという想定とは逆に、実は体内に蓄積するか、または、繰り返し曝露したため汚染レベルが高い状態を維持したか、そのいずれかであることを示唆した。

複数の曝露経路

低年齢小児とよちよち歩きの幼児は、家の中では床の表面や床の近く、屋外では地面や地面の近くで過ごす時間が長い。また、埃や土と頻繁に接触し、手、おもちゃ、その他の物を口に入れることが多く、化学物質を飲み込みやすい。住宅内の汚染物質の研究および小児の尿中の物質を直接モニターした結果から、低年齢小児、特によちよち歩きの幼児は、土、カーペットの埃、食品、空気などから、複数の経路を通じて化学物質に曝露することが明らかになった (Naeher et al. 2010; Muñoz-Quezada et al. 2012; Morgan et al. 2014)。曝露パターンには、おそらく地理的・季節的な差があるものと考えられ、現在、曝露の経路と割合の両方を評価する試みが続いているが、小児が常時、多数の物質に対し、さまざまな形で曝露することは明らかである。このため、個々の物質のレベルが低い場合も、複雑に混合した物質に対する連続的で複合的な曝露は問題である。Morgan et al. (2014) は米国の就学前小児に関し、環境汚染源 (住宅内の埃と空気、託児所の埃と空気)、衛生用品 (ウェットティッシュ)、食品などの複数の経路を通じたさまざまな農薬に対する曝露の特徴を調べた。物質と経路の違いにより、吸収率は変動した。しかし、農薬の α -クロルデン、 γ -クロルデン、ヘプタクロル、クロルピリホス、ダイアジノン、ペルメトリンは、これらの小児の自宅と託児所の環境中に共通して検出され、クロルピリホスとペルメトリンに関しては、食品が主な曝露経路であった。

2. 農薬の曝露と 関連づけられた健康への影響



温室栽培の野菜への農薬散布
(スペイン)
© Greenpeace / Ángel Garcia

2.1 出生前（胎児）および乳幼児期の曝露による影響

人の発育は農薬を含む有害化学物質の影響に対して特に脆弱である（テキストボックス2）。妊婦の農薬の曝露、および数例では低年齢小児自身の曝露が、小児の健康に対する以下の悪影響と関連づけられている。

1. 出生時の低体重・低身長および異常
2. 低知能
3. 異常行動
4. 白血病その他のがん発生率の上昇
5. 流産発生率の上昇

これらの小児の健康に対する悪影響は、妊娠中に仕事で農薬を扱った母親から生まれた子どもについて報告されているが、農業地域と都市に居住する一般集団の小児についても、農薬の曝露の健康影響が懸念される。

有害農薬に対する乳幼児の脆弱性

子宮内で発達途中の胎児および乳幼児は、有害農薬による悪影響に対して特に脆弱な場合がある。**胎児は発達過程の複雑さと成長の速さにより、化学物質への曝露に対して特に脆弱である。**

発達途中の神経系は特に神経毒性のある農薬による影響を受けやすい。神経系に対する毒性を持つ農薬は、有機リン系およびカーバメート系、ピレスロイド系、ネオニコチノイド系の農薬などである。そうした農薬の多くは胎盤関門を通過することがわかっている。例えば有機リン系農薬は胎児を囲む羊水から検出されており、脳が急速に発達する時期の出生前の胎児に対する脅威となる (Rauh et al. 2011)。

胎児と乳幼児の免疫系は未発達であり、やはり有害化学物質による悪影響を受ける。新生児と低年齢小児では、解毒酵素のレベルが成人よりもはるかに低い。例えば、新生児のPON1酵素レベルは成人よりも低く、有機リン系農薬の分解と解毒が遅いため、乳幼児は有機リン系農薬に対する曝露に特に脆弱であることが示唆された (Huen et al. 2012)。

乳児にとっては農薬で汚染された母乳が唯一の食料源であり、これらの汚染物質を排除できるほど十分に代謝能力が発達していないため、乳児も危険である (Corcellas et al.)。さらに、体が小さい小児ほど、単位体重あたりの曝露レベルは高くなるため、**乳児と低年齢小児の両方で、農薬毒性のリスクが成人よりも高い (Bouchard et al. 2011)。**

これらの小児は発達途中で農薬に曝露しているだけでなく、多種多様な経路を通じ、他の有害化学物質にも曝露する。そうした複雑な曝露パターンにより生じうる複合影響の存在は、一般には認識されているが、まだ研究が進んでおらず、知見が不十分である。

2.1.1 先天異常

米国ニューヨーク州で生まれた子どもの胎児期の臍帯から採血した血中からクロルピリホスなどの有機リン系農薬が検出され、その濃度により、子宮内での高濃度の農薬の曝露が胎児の成長を阻害する可能性が示唆された (Whyatt et al. 2004)。Barr et al. (2010) はメトラクロールについて同様の結果を報告し、農薬の曝露と出生児の成長阻害は相関性を示したが、原因については不明であった。

米国で、自宅とその周辺で日常的に農薬を使用していた女性の子どもでは、神経管の異常の発生率が2倍であった (Brender et al. 2010)。母親が一貫して高濃度の農薬に曝露していた場合の新生児における先天異常には、神経管の異常以外に循環器系、呼吸器系、尿生殖器系、骨格系の異常がある (Garry et al. 1996)。また、米国では、面積2.4ヘクタール以上のトウモロコシ畑の近辺 (500 m以内) に母親が居住する場合、四肢に異常を持つ子どもが生まれる可能性が上昇することも報告されている (Ochoa-Acuña and Carbajo 2009)。ただし、ダイズ畑から同等の距離に居住する人については確認されず、この相関性が、特定の農業用化学物質または散布法を使用した結果なのか、トウモロコシの栽培面積率の問題なのか、汚染したトウモロコシ中の微量毒素の毒性による結果なのかは、解明されていない。

2.1.2 神経毒性

出生前の農薬への曝露 (妊娠中の出生前の子どもの曝露) が、子どもの行動と知能に対して永続的な影響を与える可能性を示唆する証拠が増加している。これには特に有機リン系農薬との関係が示唆されてきた。非常に若い年齢で食品および自宅で農薬に曝露した子どもに関する27件の発表されている研究結果についてまとめた総説では、1件を除くすべての研究で、有機リン系農薬が子どもの脳と神経系の発達に与える悪影響が示された (Muñoz-Quezada et al. 2013)。発達への影響は主に、認知または行動、特に注意欠陥障害と運動技能に関係することが示された。

知的発達障害

農業地域では、食品と自宅周辺の畑に散布され空中を浮遊する農業用化学物質の曝露が組み合わされた状態で、母子が農薬に曝露する可能性が高い。カリフォルニア州サリナスバレーの農業地域で実施した研究では、妊婦の尿を調査して、胎児への有機リン系農薬の曝露を調べた (Bouchard et al. 2011)。妊婦の尿中から高い濃度の農薬が検出されると、生まれた子どもは7歳に達した時に知的発達レベルが低下することが統計的に有意であった。曝露量が多い母親の子どもは曝露量が少ない母親の子どもと比べ、IQが平均7点低かった。子どもの認知発達に及ぼす悪影響は、妊婦の尿中の有機リン系農薬の濃度が、米国の一般集団で通常検出される範囲の上限レベルの母親から生まれた子どもでも確認された。

有機リン系農薬は、いまだに米国や日本などの都市圏で害虫駆除のために使われている。2001年まで、有機リン系農薬のクロルピリホスは特に都市圏で特に多く利用されていた。Ruah et al. (2011) は、ニューヨーク市の妊婦のクロルピリホス曝露とそれが子ども及ぼす影響について報告している。出生時に採血した臍帯血試料の調査から、子宮内でのクロルピリホスへの出生前曝露が、7歳の小児の知的発達を低下させることが、統計的に有意であると示された。子宮内での高濃度のクロルピリホスの曝露は、7歳の子どもの作業記憶指数やIQの低下を起すことが分かった。サリナスバレーの研究でも、子宮内で有機リン系農薬に曝露した小児で作業記憶とIQが低下しており、これらの結果はそれと一致している。作業記憶障害は読解力、学習、学業成績を妨げると考えられ、かなりの経済的影響を与える可能性があるため*3 これらの欠陥は小児にとり長期的な問題になるものと考えられる (Rauh et al. 2011)。

これらの所見はニューヨーク市の小児に関して脳の構造を調べた研究の結果とも一致する (Rauh et al. 2012)。発達中の人の脳において、クロルピリホスの出生前曝露が脳内の構造変化を起すことが統計的に関連づけられ、確認された。6~11才の小児40例において、磁気共鳴画像法 (MRI) を使い、脳の構造を調べたところ、子宮内でより高濃度のクロルピリホスに曝露した小児では、ある種の認知およ

び行動と関連する脳領域中の脳構造において異常が多かった。脳の構造の変化は、脳の大脳皮質で目に見えて明らかであり、数カ所が異常に拡張し、別の箇所が薄くなっていた。出生前のクロルピリホスへの曝露と脳構造の変化および認知発達の欠陥との関連性は、これら神経毒性による影響が、小児期にまで及ぶ長期的な影響であることを示した。さらに、動物実験でも、クロルピリホスは同様な有害影響を起こし、一旦起こると回復不能であることが示され、これらの所見はその結果と一致する (Rauh et al. 2012)。

これが公衆衛生面で深刻な意味を持つことは明らかである。Rauh et al. (2012) の研究で、小児が発達障害を起こしたクロルピリホス曝露レベルは、一般の集団が通常の生活で曝露するレベルとほぼ同じであった。したがって、クロルピリホスを含む有機リン系農薬が、いまだに世界中の農業で害虫駆除に使われていることは、大いに懸念される事態である。クロルピリホスの住宅での使用は制限され、公共の場（緩衝地域など）での使用も規制されているが、ゴルフコースや一部の公園などの公共の場で、いまだに殺虫剤として使われている。日本のクロルピリホスの使用は、建材には禁止（シックハウス症候群を起こす疑いのため）されているが未だに農薬として認可され、さらに有機リン系農薬の総使用量は極めて多いのが現状である。

*3 (訳注) 起こりうる経済的損失は、Only One Chance: How Environmental Pollution Impairs Brain Development, and How to Protect the Brains of the Next Generation (Philippe Grandjean著。Oxford University Press出版) で取り上げられている。



遺伝子組み換え大豆への農薬散布 (アルゼンチン)
© Greenpeace Gustavo / Gilabert

行動に対する有害な影響

有機リン系農薬の小児の行動に対する有害な影響（主に注意力の欠如に関する影響）は、カリフォルニア州サリナスバレーの農業地域とニューヨーク市の両方で、出生前の有機リン系農薬曝露と関連づけられている（Marks et al. 2010; Muñoz-Quezada et al. 2013）。

注意欠如/多動性障害（ADHD）は複合的障害であり、正確な原因は不明である。米国では、学齢期小児の約8～9%がADHDを持つと考えられている（Pastor and Reuben 2008）。小児における顕著な注意欠如は、学習と社会性の発達を妨げることが知られている（Marks et al. 2010）。

Bouchard et al. (2010) は、米国の8～15歳の小児に関し、主に食品由来の有機リン系農薬曝露について調べ、尿中の有機リン系農薬代謝産物濃度が高い小児ほどADHDの診断が下される可能性が高いことを報告した。米国内で通常の生活で検出されるレベルの有機リン曝露が、小児でのADHDの発症リスクを上げる可能性があるとして結論した（Bouchard et al. 2012）。出生前および小児期の農薬への曝露と神経行動学的発達に関する Jurewicz and Hanke (2008) による総説でも、これらの所見が裏付けられている。結論が異なる研究例もいくつかあるが、総合すると、小児の農薬曝露により神経行動学的発達の障害が生じることが明らかとなっている。

神経毒性を示すその他の証拠

有機リン系農薬に対する出生前の曝露が、運動能力（筋肉運動の制御）に対して有害な影響を与えることを示す証拠がある。エクアドル北部では、温室での花卉園芸が集約的に行われ、有機リン系農薬がよく使われる。妊娠中にそうした温室で働いていた母親から生まれた小児（6～8歳）の研究では、農作業で農薬に曝露しなかった母親から生まれた他の小児と比較し、運動の速度と協調性、および全般的な精神機能に、一貫して欠陥があることが示唆された（London et al. 2012）。母親の健康に急性の悪影響を与えない低レベルの曝露においてさえ、曝露を受けた小児の発達が1.5～2年も遅延することが示された。

農業労働に従事する児童

農作業のために雇われ、農薬を使用する小児は、農薬の有毒な影響に対して特に脆弱な状態となる。エジプトで行われた研究では、綿花栽培での農薬散布係として雇用された小児（9～15歳）と青少年（16～19歳）について調べた（Rasoul et al. 2008）。ここでひろく使われていたのは有機リン系農薬である。この研究では、両方の年齢集団で、有機リン系農薬の曝露が多い児童において、農薬を使用する作業を行わない児童よりも、神経行動を調べるテストの成績が有意に低下していた。農薬散布係として働く時間が長いほど、認知能力に欠陥がより多くみられたと報告された。

発達神経毒性に関する結論

これらさまざまな研究を総合すると、農作業のために雇用された場合は、当然、急性で症状が重い、それよりも広範な一般集団でも、有機リン系農薬に対する低レベルの曝露の結果として、発達中の脳と神経系に対する何らかのレベルの悪影響が検出される場合がある。動物と人の両方の研究から得た証拠の大半は強固であり、この分野の研究者からは、相当の懸念が表明されている。神経発達上の異常が社会に与える実質的な影響と農薬の曝露が及ぼす潜在的悪影響を考慮すると、これらの有害農薬の使用を大幅に制限し、最終的には禁止するための効果的な手段を通じ、曝露を可能な限り最小に抑え、防止することが不可欠である。

これまでの研究に基づき、カーバメート系（特にアルジカルブとメソミル）、大部分のピレスロイド系（例えばペルメトリン）、エチレンビスジチオカーバメート系（例えばマンネブとマンコゼブ）、クロロフェノキシ系除草剤（2,4-D）などの広く使用されている他の多くの農薬も、発達神経毒性を持つと見なすべきである（Ragouc-Sengler et al. 2000; Bjørling-Poulsen et al. 2008; Soderlund 2012; van Thriel 2012）。また、細胞培養と実験動物を用いた研究で、ネオニコチノイド系農薬（特にイミダクロプリド）が、人の脳の発達と神経伝達を阻害する可能性があることを示す新たな証拠が得られている（Kimura-Kuroda et al. 2012; Vale et al. 2012）。以上の事実から、農業地域に居住する人や、そこで作業をする人を保護するためには、農薬曝露の防止が不可欠である。

2.1.3 小児白血病およびその他のがん

最近の白血病原因の証拠をまとめた総説では、農作業であれ自宅と庭での農薬の使用であれ、妊娠中に農薬に曝露した母親から生まれた子どもで、白血病のリスクが上昇することが示唆された (Alavanja et al. 2013)。ある種の化学物質に対する幼年期の曝露は、小児白血病発症の重大なリスク因子となる疑いがある。1970年代以来、特定の小児がんの罹患率が上昇してきたことから、農薬曝露から生じるリスク上昇の潜在的可能性が、相当に懸念されることは明らかである。

農作業中の農薬の曝露

Van Maele-Fabry et al. (2010) は10件の研究結果を分析し、妊娠の前・中・後の女性における作業中の農薬の曝露と、その子どもの健康への影響を調べた。母親の職業的農薬曝露は、子どもが白血病にかかるリスクの上昇と関連していた。白血病を発症するリスクは、母親が仕事で農薬に曝露しない子どもの1.6倍であった。

父母の職業的農薬曝露と小児白血病との関連性に関する文献のメタ分析では、農薬を殺虫剤、除草剤などの大まかなグループに分けて検討した (Wigle et al. 2009)。この分析の結果、すべての研究例において、小児白血病は出生前の母親の曝露と関連づけられたが、父親の曝露との関連性はそれよりも弱く、一貫性も低かった。母親の殺虫剤の職業的曝露後に子どもが白血病にかかるリスクの上昇は、曝露しなかった母親の子どもと比較し、確率は2.7倍であった。除草剤の曝露については、確率は3.6倍に上昇した。

自宅と庭での農薬への曝露

Turner et al. (2010) は、殺虫剤と除草剤の自宅や庭での使用と小児白血病との関連性を調べた15件の研究の所見を分析した。これらの研究を総合した結果、母親が妊娠中にこれらの物質に曝露すると、子どもが白血病にかかるリスクが上昇することが示唆された。例えば、自宅で母親が殺虫剤に曝露した場合、子どもが白血病にかかる確率は、農薬を使用しなかった母親の子どもの2倍以上であった。

その他のがん

妊娠中の農薬の曝露が、子どもの脳と骨のがんのリスクを上昇させる可能性を示す証拠がある (Wigle et al. 2009)。農作業中または自宅での父親の農薬への曝露 (メタ分析で大まかにグループ分けされている) も、子どもの脳腫瘍のリスク上昇と関連づけられている。これはおそらく父親の精細胞 (精子になる細胞) の遺伝子が、農薬により誘発された損傷を受けるか、または、父親の作業着についての農薬が自宅に持ち込まれ、自宅を汚染するためと考えられる (Vinson et al. 2011)。Vinson et al. (2011) も40件の研究例のメタ分析で、農薬への曝露が小児白血病とリンパ腫のリスク上昇と関連づけられたことを指摘している。

Flower et al. (2004) は50種の小児がんを同定し (合計17,357人の小児から)、親の農作業中の農薬曝露が、ホジキンリンパ腫などのリンパ腫を含むすべてのがんの発生率上昇と関連づけられることを示唆した。出生前に父親が使用したと特定された16種類の農薬中、アルドリノ、ジクロロボス、エチルジプロピルチオカーバメートは、小児がんのリスクを引き上げると考えられたが、ただし、これは少ない症例に基づく結果である。

2.1.4 流産と早産

数件の研究で、妊娠中の農作業における農薬曝露が流産につながる可能性が示唆されたが、まだ決定的な証拠は得られていない。有機塩素系農薬は脂溶性（脂肪に溶け蓄積する傾向）なので、妊娠の維持に特に重要な脂溶性ホルモンであるエストロゲンとプロゲステロンの正常なバランスが崩れる可能性が示唆されている（Sharma et al. 2012）。Pathak et al. (2009) は、臍帯血中の高濃度の β -HCHが早産と関連することを報告し、Pathak et al. (2010) の論文では、臍帯血中の高濃度の γ -HCHが流産を繰り返すリスクを上げること示唆された。

Bretveld et al. (2008) はオランダで、アバメクチン、イミダクロプリド、メチオカルブ、デルタメトリン、ピリミカルブなどの農薬が常時、大量に使用される花卉栽培温室で働く女性について調べた。これらの物質はすべて現在、EU域内での使用が認可されている。この研究では、この女性の間で流産リスクが4倍に上昇していたことを報告した。

Text Box 3.

農薬は遺伝子発現を通じて将来の世代に影響を与える可能性がある

実験研究の結果から、一部の農薬はエピジェネティックな変化を起こし、それが次世代に継承して疾患を起こしやすくなることが示された。エピジェネティクスは、DNA塩基配列の変化なしに起きる遺伝子発現の変化（遺伝子発現のスイッチのオン/オフ）の継承を研究する学問である。

妊婦がベルメトリンやディートなどの農薬や化学物質に曝露すると、本人が病気になる確率が上昇するだけでなく、これらの有害物質に一度も曝露したことがない子孫が、病気になるリスクを上げる可能性がある。これは動物実験で観察されており、特定の遺伝子発現のオン/オフのスイッチと関連する可能性がある（Manikkam et al. 2012）。Anway and Skinner (2006) は、ラットにビクロゾリン（抗男性ホルモン作用を持つ殺菌剤）を曝露したところ、その後4世代にわたる子孫で顕著な悪影響が現れたと報告した。この作用機序を考えると、人でも起こる可能性があり、いくつかの研究で、農薬が確かに遺伝子発現パターンに影響を与えることが指摘されている（Collota et al. 2013）。従って、エピジェネティックな変化は、農薬が人の健康に影響を与える機序の1つである可能性がある。

2.2 農薬と成人のがん

米国アイオワ州とノースカロライナ州の農業労働者、農薬散布者、その家族に対する農薬の影響の潜在的可能性を調べるために、1993年に農業健康調査（AHS：The Agricultural Health Study）が開始された（Alavanja et al. 1996）。およそ75,000人（77%が農薬散布者として登録）を対象として、長年にわたり、がんとがん以外の両方の健康リスクを追跡調査した。曝露の強度、およびライフスタイルや労働者が曝露する他の混合物質などの交絡因子を確実に定量化できないという理由で、AHSは多数の研究者から批判を受けている。また、これらのがんの発生例数が、観察された標本サイズの中で少なく、研究が科学的に強固かどうか疑問視されている。しかし、AHSに関連した研究の結果を検討すると、農作業での12種類の農薬の曝露は、全タイプの発がんリスク上昇と関連することが示唆された（Weichenthal et al. 2010）。動物による毒性実験も、アラクロール、カルバリル、メトラクロール、ペンジメタリン、ペルメトリン、トリフルラリンなどの農薬に発がん性がある可能性を裏付けている（Weichenthal et al. 2010）。

実験研究や疫学研究には複数の交絡因子が関係することが多く、ある農薬が特定のがんのリスク上昇の原因であると確定することは非常に難しい。しかし、Alavanja et al. (2013) は、がんと農薬の関連性に関するAHSの論文やそれ以外の確実で信頼できる論文から得た証拠を考察すると、農薬の使用にはがん発症に関わる重大な公衆衛生上の問題があると述べている。さらに、農薬散布者だけでなく、環境中で農薬に曝露する率が高い地域に居住する一般集団でも、発がんリスクが上昇する可能性を示唆する証拠がある（Parrón et al. 2013）。

従って、農薬への曝露をがんに関連づける直接的な因果関係の証拠は不確実であるとしても、特定の農薬と多数のがんの間に相関性が存在することは間違いない（表1）。これらの物質はWHOにより、「リスクの見込みが低い」から「きわめて有害」まで、さまざまな分類に指定されている。しかし、発がん物質と明確に分類されたものはない。このことは農薬登録認可を変更するために、疑う余地のない証拠を提供することの難しさを表しており、発がん性の疑いのある農薬の多くが、いまだに農業で使用されている。

表1. 農業健康調査 (Weichenthal et al. 2010) の結果として発表された文献で、農業労働者/農薬散布者での特定のがんと有意な関連性が示された農薬、およびIUPAC農薬特性データベースに記載されたWHOの分類*。WHOの分類コードは、U=有害作用は考えにくい、O=使用廃止、SH=わずかに有害、MH=中程度に有害、EH=きわめて有害。「欧州での規制」に関するデータは、欧州委員会EU農薬データベースに基づく**。

農薬名	種類	ガンのタイプ	WHO分類	欧州での規制
アラクロール***	有機塩素系農薬	リンパ球造血系全種****	MH	あり
アルジカルブ***	カーバメート系	大腸がん	EH	あり
カルバリル***	カーバメート系	メラノーマ	MH	あり
ダイアジノン***	有機リン系農薬	リンパ球造血系全種、肺がん、白血病	MH	あり
ジカンバ***	芳香族カルボン酸系	肺がん、大腸がん	MH	なし
ディルドリン	塩化炭化水素	肺がん	O	あり
クロルデン	有機塩素系農薬	直腸がん、白血病	MH	あり
クロルピリホス***	有機リン系農薬	リンパ球造血系全種、肺がん、結腸がん、脳腫瘍	MH	なし
EPTC*** (S-エチル-N,N-ジプロピルチオカーバメート)	チオカーバメート	白血病、大腸がん、すい臓がん	MH	あり
ホノホス	有機リン系農薬	白血病、前立腺がん (家族歴がある農薬散布者に関して)	O	あり
イマゼタピル***	イミダゾリノン	大腸がん、膀胱がん	U	あり
メトラクロール***	クロロアセトアミド	肺がん	SH	あり
ペンジメタリン***	ジニトロアナリン	肺がん、結腸がん、すい臓がん	MH	なし
ペルメトリン***	合成ピレスロイド	多発性骨髄腫	MH	あり
トリフルラリン***	ジニトロアナリン	大腸がん	U	あり

* <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

** http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=homepage&language=EN

*** 2009年3月に米環境保護庁により発がん性の証拠が指摘されたもの。最低1種のがんと関連する有意な曝露反応関係を示した農薬。

**** リンパ腫全種、白血病、多発性骨髄腫を含む。

2.2.1 前立腺がん

農業労働者に関する研究を含むいくつかの研究で、前立腺がんのリスク上昇が農薬の使用、特に有機塩素系農薬と関連することが示唆された (Band et al. 2010)。前立腺がんのリスクは、有機塩素系農薬に曝露し、かつ、この疾患の家族歴を持つ人で高かった (Alavanja et al. 2003; Alavanja and Bonner 2012; Mills and Shah 2014)。

2.2.2 肺がん

すべての肺がんの大部分は喫煙と関連するため、他の物質による影響の研究が特に難しい。このため、他の化学物質の寄与を特定するためには、研究に対し、喫煙の影響を考慮した補正を加えなければならない。一般に、農業労働者は屋外で身体を使って働くライフスタイルなので、他の社会集団よりも喫煙量が少ないことが想定されるものの、特定の農薬 (クロルピリホスなど) の長期的曝露については、肺がん発症率の上昇を示唆する証拠がある (Lee et al. 2004a; Lee et al. 2004b Alavanja and Bonner 2012)。

2.2.3 稀ながん

診断されることが稀なある種のがんについては、さまざまな職業性健康被害との関連性を示す証拠がある。曝露する多数の物質の中で、職業上、農薬を長期的に使用する例では、骨とそれを囲む組織に生じる多発性骨髄腫、骨肉腫、ユーイング肉腫のリスク上昇と関連づけられている (Merletti et al. 2006; Perrota et al. 2008; Vinson et al. 2011; Pahwa et al. 2012; Charbotel et al. 2014)。ホジキン病 (リンパ腫の一種) の一部も、農薬、特にクロルピリホスへの曝露との関連性が疑われる (Khuder et al. 1999; Orsi et al. 2009; Karunanayake et al. 2012)。

白血病 (血液のがん) は多様ながんのグループで、白血病と関連する農薬曝露については知見が少ないが、一般に農薬への職業性曝露と急性骨髄性白血病の間には、何らかの関連性があると考えられている (Van Maele-Fabry et al. 2007; Alavanja et al. 2013)。急性骨髄性白血病は稀ではあるが、成人がかかる白血病としては最も多いタイプである。やはり希少疾患である有毛細胞白血病のリスク上昇も、有機塩素系農薬と有機リン系農薬に対する職業的な曝露と関連すると考えられている (Orsi et al. 2009)。

2.2.4 遺伝的脆弱性

農薬が原因でがんになる機序は多数存在する。DNAに対する直接的損傷（遺伝子毒性）は、有機リン系、カーバメート系、ピレスロイド系や、複合的な農薬混合物と接触する農業労働者で生じると考えられているが、他の機序が関与する可能性もある（Bolognesi 2003; Bolognesi et al. 2011）。一部の人では、ある遺伝子の変異が原因で、他の人よりもリスクが上昇することがある。農薬を解毒する酵素の遺伝子はいくつか存在し、また、DNAの修復に関与する遺伝子もある。これらの遺伝子の変異を持つ人の場合、それに対応する酵素の機能が通常よりも低いことがあり、その結果、農薬を曝露したときに、これら農薬の毒性への身体の対応力が低い。これは人により発がんリスクが上下する機序の一部であると考えられるが、まだ確立されていない研究分野である。

Alavanja et al. (2013) は、がんを起こしやすい遺伝要因を持つ人が、農薬の発がん性に脆弱で、がんのリスクが高いことは、がん発症がどうして起こるかの重要な機序を示していることを指摘した。さらに、この遺伝的にがんになりやすい人は、現在の人集団全体を通じてごく普通に存在するため、彼らを特定し、その人たちの曝露を防ごうとする試みは、現実的ではない。

Text Box 4.

一部の農業労働者におけるDNA損傷に対する脆弱性の上昇

例えば、台湾中部の果樹園労働者に関する研究の一部として、一部の人で農薬の曝露に対する脆弱性が高くなっていることが報告された（Liu et al. 2006）。これらの労働者は毎日の作業で30種類近くの農薬に曝露していた。この研究では、労働者の農薬曝露が、観察されたDNA損傷レベルと関連するかどうか、また、特定の遺伝子変異が原因でDNA損傷を受けやすい農業労働者がいるかどうかを調べた。

GST遺伝子と呼ばれる特定の遺伝子群が、さまざまな農薬を含む有機物質を解毒する酵素をコーディングすることがわかっている。農業労働者に関する Liu et al. (2006) による研究では、**GST遺伝子の変異 (GSTP1 Ile-Ile)** を持つ人で、**DNA損傷のリスクが上昇し、最も曝露が多い集団で、それが特に顕著であることが示された。**

2.3 農薬と神経系の障害

多数の農薬、特に殺虫剤は、害虫の神経系を標的とするよう特に意図して作られている。このため、これらの物質は、人や他のほ乳類など標的以外の動物に対しても神経毒性を持つ場合がある (Bjørning-Poulsen et al. 2008)。農薬の曝露が小児の神経発達に与える重大な影響については、十分な研究例がある。成人の特定の神経変性疾患と農薬曝露の関連性は、小児の場合ほど研究が進んでいないが、その発症は環境要因と遺伝的素因の両方の組み合わせによるものと考えられている。加齢が最大のリスク要因であることはほぼ確実であるが、農薬の低用量/長期の曝露は、疾患の発症をさらに進める要因と見られてきた。このような環境要因と遺伝的要因の間の相互作用のメカニズムを理解することは、今後の研究において重要である (Baltazar et al. 2014)。

2.3.1 パーキンソン病

パーキンソン病は、中脳のニューロンの減少を特徴とする神経変性疾患である。脳の中脳の運動を制御するニューロンが機能しなくなり、患者は振戦、遅い動き、平衡感覚の悪さ、時には行動の変化に苦しむ (Chhillar et al. 2013)。パーキンソン病の原因は複合的である。加齢、性別、遺伝的要因が関連し、それに重なる形で、農薬の曝露などの環境要因が加わる (Wang et al. 2014)。

いくつかの研究で、農業労働者と農薬散布者における農薬の曝露が、パーキンソン病のリスク上昇と統計学的に関連づけられてきた (Van Maele-Fabry et al. 2012)。Van der Mark et al. (2012) は、農薬とパーキンソン病の関連性に関する46件の研究を検討し、農薬、特に除草剤と殺虫剤 (またはそのいずれか) の曝露によるパーキンソン病のリスク上昇が強く示唆されると結論づけた。

クロルピリホスと有機塩素系殺虫剤は、パーキンソン病の発症に対して比較的強い影響を持つ可能性があるが、曝露とがんの関連性の確定と同様に、決定的な因果関係を確定することは難しい (Elbaz et al. 2009; Freire and Koifman 2012)。インド北部のある集団では、平均を上回るレベルの β -HCHとディルドリンが血中から検出され、それとパーキンソン病のリスク上昇が関連づけられた (Chhillar et al. 2013)。

カリフォルニア州の農業地域で行った研究では、その地域での居住または農業就労者の有機リンの曝露が、やはりパーキンソン病になるリスクの上昇と関連づけられた (Wang et al. 2014)。この研究で評価を行った有機リン系農薬26種全部がリスク上昇と関連づけられた。Pezzoli and Cereda (2013) は、除草剤のパラコートに対する職業的曝露が、パーキンソン病になるリスクの倍増と関連づけられることを示唆した。この農薬は米国と欧州では使用が禁止されているが、世界中の多数の国で、いまだに農薬として認可・登録されている。

遺伝的脆弱性とパーキンソン病

がんと同様に、疫学研究により、体内での農薬の分解する酵素の遺伝子に特定の変異を持つ人は影響を受けやすく、農薬への曝露後にパーキンソン病になるリスクが上昇することが報告された。これらの遺伝子変異は人の集団中に普通に存在するものであった。

Fong et al. (2007) は、2つの特定の遺伝子 (MnSODとNQO1) の変異を持つ台湾南西部の農業労働者で、一般集団と比較し、パーキンソン病のリスクが上昇していることを報告した。これらの遺伝子の変異を持つ人は、欠陥のある酵素を作り、おそらくそれが原因で脳への障害のリスクが上昇し、その結果、パーキンソン病にかかりやすくなるものと思われる。変異をもつ人がパーキンソン病になるリスクは、正常な遺伝子を持つ人の2.4倍であった。両方の遺伝子の特定の変異を持つ農業労働者では、パーキンソン病になるリスクが4倍であった。

別の酵素、パラオキシナーゼ1の遺伝子はPON1で、有機リン系農薬の体内での解毒に関して重要な役割を果たす (Manthripragada et al. 2010)。PON1 遺伝子の特定の変異を持つ人は一般集団中に普通に存在する。これらの人は有機リン系の解毒の効率が悪い。この場合も、カリフォルニア州の農業地域に居住し、そこで就労し、PON1 遺伝子の特定の2つの変異を持つ人では、パーキンソン病になる確率が最高であった (地域外に居住し、農薬に曝露せず、正常な遺伝子を持つ人の2.8~3.5倍) (Lee et al. 2013b)。

GSTP 遺伝子 (特にGSTP-1) の変異で産生されるタンパク質は、農薬を解毒するどころか、農薬の毒性を高め、さらに毒性の強い代謝物を形成し、脳に対して一層のダメージを与える可能性がある。この場合、GSTP-1の特定の変異を持つ人はパーキンソン病にかかりやすい (Menegon et al. 1998)。

自宅での農薬使用とパーキンソン病

職業上の農薬の使用に加え、自宅とその周辺で殺虫剤を使用する人も、曝露の結果として、パーキンソン病にかかりやすくなるものと思われる。Narayan et al. (2013) は、米国の一般家庭での殺虫剤、特に有機リンの使用が、パーキンソン病になるリスクが70~100%上昇させることを発見した。この場合、自宅で頻繁に有機リン系殺虫剤を使用し、PON1 遺伝子の特定の1つの変異を持つ人では、パーキンソン病になるリスクが2.6~3.7倍であった。

2.3.2 認知症とアルツハイマー病

アルツハイマー病（AD）は認知症の中で最も多い病気である。Ballard et al. (2011) はアルツハイマー病の発症に関連するリスクの70%までが遺伝要因を原因とし、その他の原因として、肥満、喫煙、不活発、高血圧、糖尿病などがあるとしている。これらよく知られた要因に加え、特定の農薬に対する曝露、特に有機リンへの慢性的曝露が、アルツハイマー病発症のリスクに寄与することを示す新たな証拠が見つかっている (Zaganas et al. 2013)。例えば、長期曝露が増えるにつれ、認知、行動、精神運動の機能不全が増えることを示した研究が数例ある (Costa et al. 2008)。やはり認知症の中で多い病気である血管性認知症のリスクも、農薬曝露により上昇する可能性がある。他の変性疾患と同様に、これらのタイプの認知症と農薬曝露には、遺伝的なかかりやすさが関係するものと思われ、それはおそらく、農薬を解毒する酵素など特定の遺伝子の変異を持つ人が農薬曝露を受けると、発症しやすくなるのであろう (Zaganas et al. 2013)。

2.3.3 その他の神経系への影響

筋萎縮性側索硬化症（ALS）

ALSは10万人に1～2人という稀な疾患で、脳の運動ニューロンと脊椎が障害を受ける神経変性疾患である。症例の約10%が家族歴を持つが、溶剤、金属、有機塩素系農薬の曝露などの環境要因も、この病気にかかるリスクを上昇させると考えられている (Kamel et al. 2012)。有機リン系農薬による急性毒性もALSの発症と関連する可能性があり、各種の農薬曝露の測定に重点を置き、疾患の発症との相関性の強さを調べるなど、一層の研究が必要である (Baltazar et al. 2014)。

全般的な神経機能障害

農薬を散布する農業労働者は、偶発的に大量の農薬に曝露する事故に巻き込まれることがある。そのような「大量農薬曝露事故」(HPEE)は、農薬散布者の間では比較的普通に起きる。これは機器の故障、農薬の混合・注入・散布中または機器修理中の不適切な作業の結果として起きる (Starks et al. 2012a)。米国の農業健康調査では、過去にそのような「大量農薬曝露事故」(大まかに「農薬」と分類されている薬剤曝露)を体験した人では、視覚を検査する2種類の神経行動試験において、平均して反応が遅いことが確認された。Starks et al. (2012a)は、大量農薬曝露事故が長期的な神経機能の低下と関連する可能性がある結論した。

長期的に農作業に携わってきた農業労働者と農薬散布者は、低濃度ではあるが長期的な農薬曝露を受ける可能性がある。この曝露、特に有機リン系農薬への曝露は、中枢神経系(脳と脊髄)と末梢神経系(各臓器や四肢を脳・脊髄と繋ぐ神経)の両方に悪影響を与える可能性がある。Ismail et al. (2012)は、17件の論文を総合的に検討した結論として、農業労働者における低濃度の有機リン系農薬に対する慢性的曝露が、注意力、発話、視覚、記憶、情動などの変化を含め、脳の機能に対する悪影響(うつ病などの病気の発生を含む)を起こす可能性があることを示唆した。

Starks et al. (2012b)は、10種類の有機リン系農薬の長期曝露が、特定の医療試験で、末梢神経系機能の低下と関連づけられたことを報告した。特に、つま先の感覚異常(目を閉じた状態で、つま先が上下どちらに動かされているかを感じ取れない)が、農薬のクロロピリホス、クマホス、ジクロロホス、ホノホス、ホスメット、テトラクルロビンホスの使用歴と関連していた。

これらの結果は、低レベルの有機リン化合物の曝露と神経機能障害の関連を調べた14件の疫学研究(1,600人の調査)を解析した結果とも一致する (Mackenzie Ross et al. 2013)。この解析によれば、低レベルでも長期に有機リン系農薬に曝露すると、認知機能(特に、精神運動速度、記憶、視空間認知)が低～中程度に障害を受けることが明らかになった。さらに、Mackenzie Ross et al. (2010)

は、羊の寄生虫駆除のため、定期的に低濃度の有機リン系殺虫剤に曝露する牧羊業者には、神経機能に顕著な障害が確認されることを報告した。これらの有機リン系農薬の影響、特に低濃度の曝露影響は、これまで過小評価されてきたが、他の産業の労働者においても深刻な影響が考えられる。例えば、航空業界では航空機燃料に数種類の有機リン系化合物が潤滑油として混合されており、影響が懸念される。

2.4 免疫系への影響

農薬の免疫毒性に関する多くの研究結果は複雑である。試験方法の違い、適切な対照（無曝露）群を特定しにくいこと、農薬曝露の正確な測定の高難しさにより、因果関係の推定が難しい。しかし、動物を用いた研究では、人にも関係する作用機序を通じて、免疫系も農薬の標的になり、特定化学物質に対する過敏症（免疫刺激）や、場合によっては特に小児で、免疫抑制のいずれかが起きる可能性があることを示唆している（Corsini et al. 2013）。

例えば、複数の農薬に対する職業性の曝露が、アレルギー性ぜんそくとアレルギー性鼻炎の両方の発症と関連する可能性を示唆する証拠があるが、結果は決定的ではない（Corsini et al. 2013）。例えば、米国の農業健康調査に参加した農業労働者では、ぜんそくにかかるリスクが2倍と評価され、これはクマホス、ヘプタクロル、パラチオン、臭化エチレン、および四塩化炭素と二硫化炭素の混合物などの農薬に対する高水準の曝露と関連する可能性がある（Hoppin et al. 2009）。加えて、Slager et al. (2010) は、農薬グリホサート、ダイアジノン、クロルピリホス、ジクロルボス、マラチオン、カルバリル、ペルメトリン、カプタンなどの使用経歴のある農業労働者には、アレルギー性鼻炎を起こしたことがある人が多いと報告した。特定の農薬（ペンジメタリンとアルジカルブ）の使用は、すでにぜんそくに苦しんでいる人の、症状を悪化させる可能性がある（Henneberger et al. 2014）。

自宅や仕事で農薬曝露を受けた女性では閉経後、関節リウマチや全身性エリテマトーデスなどの自己免疫疾患のリスクが上がるという報告がある（Parks et al. 2011）。

2.5 内分泌系への影響

2.5.1 甲状腺疾患

実験研究により、多くの農薬が内分泌かく乱物質であり、全身のさまざまなホルモンの機能を妨げる可能性があることが示唆されている（Mnif et al. 2011; Mandrich et al. 2014）。アミトロール、シハロトリン、フィプロニル、ピリメタニルなどの農薬により、甲状腺ホルモン産生が阻害されると考えられている。さまざまな有機リン系農薬に曝露した花卉園芸労働者では、身体中の甲状腺ホルモン濃度の変化がみられた（Lacasaña et al. 2010）。

他の農薬も甲状腺ホルモン濃度を変え、甲状腺疾患を引き起こす可能性がある。米国の農業健康調査では、農業地域に居住し労働する農薬散布者（もしくは居住か労働かいずれかの場合も有り）の妻は、農薬曝露の低い一般集団よりも甲状腺疾患が多かった（Goldner et al. 2010）。これらの女性の甲状腺疾患発症率の上昇は、さまざまな有機塩素系殺虫剤および殺菌剤のベノミルとマンネブ/マンコゼブ（カーバメート系）に対する曝露と関連すると考えられた。

有機塩素系農薬による汚染の進行が確認されているブラジルの1地域で、Freire et al. (2013) は608人の成人（男性303人、女性305人）で構成される試験集団において、甲状腺機能亢進症の有病率が上昇していることを確認した。性差もあり、女性で甲状腺ホルモン濃度が上昇していたのに対し、男性では甲状腺ホルモン濃度がむしろ一般集団で観察されるよりも低下していた。

2.5.2 農薬と性ホルモン

試験管内または培養細胞を用いた実験研究では、特定の農薬の曝露により性ホルモンのバランスが崩れるという所見が確認された（Kjeldsen et al. 2013）。Andersen et al. (2008) は、妊娠中に温室での作業で農薬に曝露した女性の男児では、正常な発達が損なわれたことを報告している。逆に、デンマークで妊娠第一期に温室で作業した母親から生まれた女兒は、学齢に達した時点の性ホル

モン濃度は同等であったが、農薬の曝露がない集団よりも早く乳房が発達した (Wohlfahrt-Veje et al. 2012)。

また、男女両方の生殖能力が、農薬曝露の上昇につれて低下することを示す証拠もある (Abell et al. 2000; Oliva et al. 2001)。これは、生殖能力に関わる遺伝要因もしくは別の医学的要因が関与している可能性もある。

2.6 農薬中毒

深刻な影響の証拠が多数あるにもかかわらず、入手可能なデータが非常に限られているため、農薬への慢性曝露による総合的な健康影響の分析は難しい。しかし2002年には、農薬による意図的な服毒によって死亡した人は186,000人にもものぼったと推定されており、別の推定では258,000人にもなるとしている (Pruss-Ustun et al. 2011)。2002年、農薬による意図的な (自殺) 中毒は、世界の自殺件数の約3分の1をも占めた。2004年、WHO (2008) や Gunnell et al. (2007) は農薬などの有害化学物質の保管など安全対策を改善することにより、意図しない農薬中毒の71%を防ぐことができると提言している。意図しない農薬中毒で最もリスクが高い集団は小児、特に0~4歳の年齢層である (Perry et al. 2014)。殺虫剤中毒による致死の場合、大部分が有機リン系農薬の誤飲であった。有機リン系農薬中毒の重度の症例は「コリン作動性症候群」として発現し、霧視、頭痛、不明瞭発語、昏睡、痙攣、呼吸中枢のブロックなど、さまざまな中枢神経系の影響が含まれる。一部の症例では、中毒により遅延性ニューロパチー (神経症) が誘発され、時を経て神経細胞が変性するが、その機序はよくわかっていない (Bjørning-Poulsen et al. 2008)。このように、急性有機リン系農薬中毒で生き残った場合も、神経系に対する長期的悪影響を受けることを強く裏付ける証拠がある。



農藥散布 (中国·雲南省)
© Greenpeace / Simon Lim

3. 工業型農業

ー 野生生物生息地に対する影響



モノカルチャー（単一栽培）農業の景観（フランス）
© Greenpeace/ Emile Loreaux

このレポートでは、農薬の直接の使用だけでなくさらに広範な影響を含む両面から、農薬が及ぼす人の健康に対する脅威に重点を置いた。もちろん、現在の化学合成農薬への過剰な依存と、持続可能性のない工業型農業のシステムから生じる問題は、人の健康への脅威だけではなく、生態系への影響という面でも深刻である。

環境に放出された農薬が環境全体の多数の生物種にも影響を与えることは、長年知られている。1960年代、70年代の有機塩素系農薬の広範な使用は、世界の多数の地域で野生生物の個体数の激減を引き起こした。それを如実に示したのは、猛禽類に対する影響と個体数の減少の記録である（Köhler et al. 2013）。当時、鳥類などの野生生物に影響を与えた DDT、ディルドリン、その他の有機塩素系農薬については、その後、農業での使用が禁止された。しかし、それ以降も、代わりに導入された新世代の農薬が広く、繰り返し散布され、鳥類や野生のハチの個体数減少、水生生物環境の変化が継続している（Beketov et al. 2013; Kennedy et al. 2013; Hallmann et al. 2014）。農薬は地球上のあらゆる生き物の生息地に存在し、海と陸のほ乳類からも一貫して検出されている（Carpenter et al. 2014; Law 2014）。

欧州における工業型農業手法の蔓延は、産業規模の農薬の使用にとどまらず、さまざまな理由により、農地の野生生物生息地の大幅な減少を引き起こした。生け垣、林、畑の辺縁などは、かつて多数の種の営巣と採餌の場であったが、工業型農業の特徴である大面積の農地を確保するために破壊された。この生息地の消失が、ハチ、その

他の花粉媒介者、捕食性無脊椎動物、農地に生息する鳥など、多数の種の減少をさらに悪化させた (Kennedy et al. 2013; Goulson 2014; Hallmann et al. 2014; Allsopp et al. 2014)。

殺虫剤は標的である害虫を殺すだけでなく、鳥が餌にする他の無脊椎動物も殺すことがある。さらに、雑草の除去を意図した除草剤の散布が、農地で作物のすき間や周辺に生える多数の有用植物も枯らすことがある。これらの植物は、鳥その他の野生生物に身を隠す場所と餌を提供しているのだ。

現在、両生類は地球上で最も脅かされ、激減している生物群と見なされ、世界的規模で、生息地から急速に姿を消しつつある。Brühl et al. (2013) の研究では、現在農業で使われているレベルの農薬の毒性影響に、カエルがきわめて脆弱であることが示唆された。

Christin et al. (2013) は、北米で最も普通に見られるカエルの1種であるヒョウガエルを収集し、農業地域（主に、集約栽培のトウモロコシとダイズ）に生息する個体は、サイズが小さく、免疫系が変性し、病気と感染に対して脆弱になったことを確認した。

上述の数例は農薬汚染が野生生物と生態系に与える影響のうち、特にわかりやすいものを挙げたにすぎず、これらは他の報告書でも詳述されている。いずれにせよ、農薬曝露から人を守るために、さらなる保護対策を講じる必要があるのは明白で、より持続的な生態系農業システムを目指す切実な理由であるが、人を保護するだけが正当で利点があるというわけではない。

4. 結論



アスパラガスとレタスの畑から
拾い集めた、様々な農薬の袋
(中国・河北省)

© Greenpeace / LiGang

工業型農業における農薬の使用により、農業労働者や小児を含む一般の人々の健康が、農業地域で使われる農薬や、私たちが摂取する食物中にも残留する農薬により脅かされている。

複数の種類のがん、パーキンソン病やアルツハイマー病などの神経変性疾患、新生児の疾患など、多数の慢性病において、特定の農薬に対する曝露が重大なリスク要因であることを示す広範な証拠が存在する。また、農薬曝露が免疫系およびホルモンバランスの障害と関連することを示す状況証拠もある。大規模な実験を実施し、これらの人の健康に関する問題の因果関係を直接評価することには、そのような手法につきものの問題が存在するが、特定の農薬に対する曝露とある種の疾患の発症率との統計学的関連性には説得力があり、無視することはできない。これらの農薬が疾患を誘発する機序は十分に解明されていないが、解毒酵素の機能の障害における中心的な役割、および全身のイオンチャネルと受容体に媒介される影響が、研究により示唆されている (Mostafalou and Abdollahi 2013)。

また、集団の中には元々遺伝的に、農薬曝露の影響を受けやすく、健康障害を起こしやすい高リスクの人がいる。そのような差を特定し、あらゆる人のために高水準の保護を確保できる政策を整備するには、従来のような農薬散布への依存という問題を克服することが必要である。

さらに、農薬曝露によるエピジェネティックな変異が次世代に引き継がれることもあり、農薬に曝露したことがない将来の世代にも、種々の疾患のリスクが上がる可能性がある。

農業で使用する多数の化学合成農薬が環境中に残留して蔓延し、その結果、食品と生活環境を通じ、私たちは農薬のカクテルに曝露している。ほとんどの曝露は複数の農薬が混合した状態で起こるので、その毒性は未知で、特に長期影響は予測不能であることが分かってきている (Reffstrup et al. 2010)。これらの農薬が相互に作用すると、混合物の毒性は、個別の物質自体からは予測不能で、場合によってはさらに高い毒性を持つこともある。農薬の相互作用による複合毒性を解明する試みが行われているが、そのようなリスクを評価するために一般に認められた国際的ガイドラインは存在しない。そしてもちろん、農薬は私たちの身体が日常的に曝露する唯一の有害化学物質というわけではないのだ。

従って、人の有害化学物質の曝露を減らし、できる限り避けることは、説得力のある主張であり、それは緊急に必要とされている。そのために農業用化学品の場合、農業のシステムを抜本的に考え直し、変更することにより、合成農薬の曝露をなくし、農業労働者や小児などの特に曝露が多い集団や脆弱な集団だけでなく、一般集団と野生生態系の健全性を守る必要がある。

5. 解決策



ハンガリーの有機農場の野菜
© Greenpeace / Bence Jardany

健康と生態系に悪影響を及ぼす農薬は幅広く、多様に存在するため、選択した農薬の使用を単純に減らすという戦略だけでは、人の健康を守ることはならない。工業型農業からの移行に伴い、合成農薬の使用を全廃し、生態系農業を実施することが、これらのリスクを回避するために不可欠である。

土地の生態系の多様性を引き上げる多様なアプローチを通じて作物を保護し、受粉媒介生物や害虫を駆除する自然界の益虫、鳥類などの生物種に生息地を提供することが必要である。このような機能的な生物多様性は、積極的な植生管理を通じた改善により可能となりうる。作物のタイプと品種の多様性、輪作、休耕は、土壌の肥沃度を高め、害虫に対する抵抗性を強化する。有益な細菌、ウイルス、昆虫、線虫などの自然界に存在する生物学的防除が、作物の保護を改善するために使用され、成功を収めている (Forster et al. 2013)。

国内と世界の戦略を以下に挙げる：

1. 合成化学農薬の使用を段階的に廃止すること

[発がん性、催奇形性、生殖毒性をもつもの（CMRカテゴリIとII）、ホルモンシステムを攪乱するもの（環境ホルモン）、神経毒性のある合成化学農薬を優先的に禁止する]

2. 「農薬の持続可能な使用に関する指令（Sustainable Use Directive）」の適切な実施を確実にすること

[加盟国は具体的な国レベルの手段と目標を確実に設定し、農業における化学農薬の使用の実質的な削減につなげる]

3. EUの農薬リスク評価プロセスを改善すること

[複合的な農薬の曝露による直接・間接的、中期・長期的な健康影響と環境影響を考慮にいたった安全性の管理を進める]

4. 公的な研究予算を生態系農業にシフトして、農家が生態系農業を実践して確実な収益を得られるようにサポートすること

[現在の合成化学農薬への依存から脱し、生態系に基づく手段で害虫を制御し、農地と生態系の健全性を強化する]



- 1: ドイツで売られている有機リンゴ © Greenpeace / Sabine Vielmo
2: 生態系農産物 店先のジャガイモ、サツマイモ（オランダ・フリースラント州） © Greenpeace / Ben Deiman
3. 生態系農業で育てているそら豆 ギリシャの農産物の中でも主要なタンパク源作物 © Greenpeace / Panos Mitsios
4. ハンガリーの有機農場で収穫された野菜 © Greenpeace / NAGY Szabolcs

生態系農業

生態系農業は、人の健康と環境を守るための唯一の効果的かつ実現可能な解決策である。生態系農業はすでに世界の多数の地域で実施され、成功しており、より持続的な農業の必要性に、世界中の専門家が同意している。最近、欧州では有機農業が拡大しており、農薬を使わない農業が完全に実施可能であり、自在に拡大縮小でき、経済的に収益性があり、環境的に安全であることが実証されてきている。有機農業を実施している耕地面積は、2002年の570万ヘクタールから2011年には960万ヘクタールに拡大し、これには農耕地、果樹園、畜産場が含まれる（European Commission, 2013）。

生態系農業により生産された食品は私たちの健康に安全である。持続的農業では合成化学農薬を使用せず、農業用地における動植物の機能的な生物多様性を改善する。

生態系農業の実施により、有害物質のない未来と子どもにとりさらに安全な環境の創造が可能である。全世界での生態系農業の実施は、地域社会に自給自足能力を与え、あらゆる人にとり健康的な農業と健康的な食品という未来を約束する。

グリーンピースの生態系農業7原則：

1. 食料に対する自己決定権
2. 農業に適切な報奨
3. 賢くスマートな食料生産と産出量
4. 生物多様性
5. 持続的な土壌の健全性
6. 生態系に対して無害な害虫防除
7. 回復力のある食料生産システム



ハンガリーの有機農場で収穫された
野菜
© Greenpeace / NAGY Szabolcs

6. 参考文献

- Abell, A., Juul, S., Bonde, J.P. (2000). Time to pregnancy among female greenhouse workers. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health* 26: 131–136.
- Alavanja, M.C., Sandler, D.P., McMaster, S.B., Zahm, S.H., McDonnell, C.J., Lynch, C. F., Pennybacker, M., Rothman, N., Dosemeci, M., Bond, A.E., Blair, F.A. (1996). The Agricultural Health Study. *Environmental Health Perspectives* 104: 362.
- Alavanja, M., C., Samanic, C., Dosemeci, M., Lubin, J., Tarone, R., Lynch, C., Knott, C., Thomas, K., Hoppin, J.A., Barker, J., Coble, J., Sandler, D., Blair, A. (2003). Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the agricultural health study cohort. *American Journal of Epidemiology* 157: 800-814.
- Alavanja, M. C., Bonner, M.R. (2012). Occupational pesticide exposures and cancer risk: a review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 15: 238-263.
- Alavanja, M.C.R., Ross, M.K., Bonner, M.R. (2013). Increased cancer burden among pesticide applicators and others due to pesticide exposure. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 63: 120-142.
- Allsopp, M., Tirado, R., Johnston, P., Santillo, D., Lemmens, P. (2014). Plan Bee – Living without pesticides: Moving towards ecological farming. Greenpeace Research Laboratories Technical Report (Review) 01-2014, publ. Greenpeace International: 80 pp.
- Andersen, H.R., Schmidt, I.M., Granjean, P., Jensen, T.K., Budtz-Jorgensen, E., Kjaerstad, M.B., Baelum, J., Nielsen, J.B., Skakkebaek, N.E., Main, K.M. (2008). Impaired reproductive development in sons of women occupationally exposed to pesticides during pregnancy. *Environmental Health Perspectives* 116: 566–572.
- Anway, M.D., Skinner, M.K. (2006). Epigenetic transgenerational actions of endocrine disruptors. *Endocrinology* 147 (Supplement): S43-S49.
- Arcury, T.A., Grzywacz, J.G., Barr, D.B., Tapia, J., Chen, H., Quandt, S. A. (2007). Pesticide urinary metabolite levels of children in eastern North Carolina farmworker households. *Environmental Health Perspectives* 115: 1254-1260.
- Band, P.R., Abanto, Z., Bert, J., Lang, B., Fang, R., Gallagher, R.P., Le, N.D. (2011). Prostate cancer risk and exposure to pesticides in British Columbia farmers. *The Prostate* 71: 168-183.
- Ballard, C., Gauthier, S., Corbett, A., Brayne, C., Aarsland, D., Jones, E. (2011). Alzheimer’s disease. *Lancet* 377: 1019–1031.
- Baltazar, M.T., Dinis-Oliveira, R.J., de Lourdes Bastos, M., Tsatsakis, A.M., Duarte, J.A., Carvalho, F. (2014). Pesticides exposure as etiological factors of Parkinson’s disease and other neurodegenerative diseases—A mechanistic approach. *Toxicology Letters* 230: 85-103.
- Barr, D.B., Ananth, C.V., Yan, X., Lashley, S., Smulian, J.C., Ledoux, T.A., Hore, P., Robson, M.G. (2010). Pesticide concentrations in maternal and umbilical cord sera and their relation to birth outcomes in a population of pregnant women and newborns in New Jersey. *Science of the Total Environment* 408: 790-795.

-
-
- Beketov, M.A., Kefford, B.J., Schäfer, R.B., Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 110: 11039-11043.
 - Bempah, C.K., Buah-Kwofie, A., Enimil, E., Blewu, B., Agyei-Martey, G. (2012). Residues of organochlorine pesticides in vegetables marketed in Greater Accra Region of Ghana. *Food Control* 25: 537-542.
 - Bjørling – Poulsen, M., Andersen, H.R., Grandjean, P. (2008). Potential developmental neurotoxicity of pesticides used in Europe. *Environmental Health* 7: 50.
 - Bidleman, T. F., Leone, A. D. (2004). Soil–air exchange of organochlorine pesticides in the Southern United States. *Environmental Pollution* 128: 49-57.
 - Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 543: 251-272.
 - Bolognesi, C., Creus, A., Ostrosky-Wegman, P., Marcos, R. (2011). Micronuclei and pesticide exposure. *Mutagenesis* 26: 19–26.
 - Boobis, A.R., Ossendorp, B.C., Banasiak, U., Hamey, P.Y., Sebestyen, I., Moretto, A. (2008). Cumulative risk assessment of pesticide residues in food. *Toxicology Letters* 180: 137-150.
 - Bouchard, M.F., Bellinger, D.C., Wright, R.O., Weisskopf, M.G. (2010). Attention-deficit/hyperactivity disorder and urinary metabolites of organophosphate pesticides. *Pediatrics*, 125: e1270-e1277.
 - Bouchard, M.F., Chevrier, J., Harley, K.G., Kogurt, K., Vedar, M., Calderon, N., Trujillo, C., Johnson, C., Bradman, A., Barr, D.B., Eskenazi, B. (2011). Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7-year-old children. *Environmental Health Perspectives* 119: 1189-1195.
 - Brender, J.E., Felkner, M.N., Suarez, L., Canfield, M.A., Henry, J.P. (2010). Maternal pesticide exposure and neural tube defects in Mexican Americans. *Annals of Epidemiology* 20: 16-22.
 - Bretveld, R.W., Hooiveld, M., Zielhuis, G.A., Pellegrino, A., van Rooij, A., Roeleveld, N. (2008). Reproductive disorders among male and female greenhouse workers. *Reproductive Toxicology* 25: 107-114.
 - Brühl, C.A., Schmidt T., Pieper, S., Alschner, A. (2013). Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline? *Scientific Reports* 3: doi: 10.1038/srep01135
 - Carpenter, S.K., Mateus-Pinilla, N.E., Singh, K., Lehner, A., Satterthwaite-Phillips, D., Bluett, R.D., Rivera, N.A., Novakofski, J.E. (2014). River otters as biomonitors for organochlorine pesticides, PCBs, and PBDEs in Illinois. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 100: 99-102.
 - Cassault-Meyer, E., Gress, S., Séralini, G., Galeraud-Denis, I. (2014). An acute exposure to glyphosate-based herbicide alters aromatase levels in testis and sperm nuclear quality. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 38: 131-140.
 - Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E.A., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Van der Sluijs, J.P. (2014). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*: 1-16.
 - Charbotel, B., Fervers, B., Droz, J.P. (2014). Occupational exposures in rare cancers: A critical review of the literature. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 90: 99-134.
 - Chao H-R., Wang S-L., Lin, T-C., Chung, X-H.(2006). Levels of organochlorine pesticides in human milk from central Taiwan. *Chemosphere* 62: 1774-1785.

-
-
- Chien W-C., Chung, C-H., Jaakkola, J.J.K., Chu, C-M., Kao, S., Su, S-L., Lai, C-H. (2012). Risk and prognosis of inpatient mortality associated with unintentional insecticide and herbicide poisonings: a retrospective cohort study. *PLoS ONE* 7: e45627.
 - Chhillar, N., Singh, N, K., Banerjee, B.D., Bala, K., Mustafa, M., Sharma, D. & Chhillar, M. (2013). Organochlorine pesticide levels and risk of Parkinson's disease in North Indian population. *ISRN Neurology* Volume 2013, Article ID 371034.
 - Christin, M.S., Ménard, L., Giroux, I., Marcogliese, D.J., Ruby, S., Cyr, D., Fournier, M., Brousseau, P. (2013). Effects of agricultural pesticides on the health of *Rana pipiens* frogs sampled from the field. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 601-611.
 - Claeys, W.L., Schmit, J-F., Bragard, C., Maghuin-Rogister, G., Pussemier, L., Schiffers, B. (2011). Exposure of several Belgian consumer groups to pesticide residues through fresh fruit and vegetable consumption. *Food Control* 22: 508-516.
 - Collota, M., Bertazzi, P.A., Bollati, V. (2013). Epigenetics and pesticides. *Toxicology* 307: 35-41.
 - Corcellas, C., Feo, M.L., Torres, J. P., Malm, O., Ocampo-Duque W., Eljarrat, E., Barcelo. D. (2012). Pyrethroids in human breast milk: occurrence and nursing daily intake estimation. *Environment International* 47: 17-22.
 - Corsini, E., Sokooti, M., Galli, C.L., Moretto, A. & Colosio, C. (2013). Pesticide induced immunotoxicity in human: a comprehensive review of the existing evidence. *Toxicology* 307: 123-135.
 - Costa, L., Giordano, G., Guizzetti, M., Vitalone, A. (2008). Neurotoxicity of pesticides: A brief review. *Frontiers in Bioscience* 13: 1240-1249.
 - European Commission (2013). Facts and figures on organic agriculture in the European Union. http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/more-reports/pdf/organic-013_en.pdf
 - Elbaz, A., Clavel, J., Rathouz, P.J., Moisan, F., Galanaud, J-P, Delemotte, B., Alperovitch A. & Tzourio, C. (2009). Professional exposure to pesticides and Parkinson disease. *Annals of Neurology* 66: 494-504.
 - Fan, S., Zhang, F., Deng, K., Yu, C., Liu, S.M., Zhao, P., Pan, C. (2013). Spinach or Amaranth contains highest residue of metalaxyl, fluazifop-p-butyl, chlorfyrifos, and lamda-cyhalothrin on six leaf vegetables upon open field application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 2039-2044.
 - Fenik, J., Tankiewicz, M., Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *Trends in Analytical Chemistry* 30: doi:10.1016/j.trac.2011.02.008
 - Flower, K.B., Hoppin, J.A., Lynch, C.F., Blair, A., Knott, C., Shore, D.L., Sandler, D. P. (2004). Cancer risk and parental pesticide application in children of Agricultural Health Study participants. *Environmental Health Perspectives* 112: 631.
 - Freire, C., Koifman, S. (2012). Pesticide exposure and Parkinson's disease: Epidemiological evidence if association. *Neurotoxicology* 33: 947-971.
 - Freire, C., Koifman, R., Sarcinelli, P., Simões Rosa, A., Clapauch, R., Koifman, S. (2013). Long-term exposure to organochlorine pesticides and thyroid status in adults in a heavily contaminated area in Brazil. *Environmental Research* 127: 7-15.
 - Fong C-S., Wu, R-M., Shieh, J-C., Chao, Y-T., Fu, Y-P., Kuao, C-L., Cheng, C-W. (2007). Pesticide exposure

on southwestern Taiwanese with MnSOD and NQO1 polymorphisms is associated with increased risk of Parkinson's disease. *Clinica Chimica Acta* 378: 136-141.

- Forman, J., Silverstein, J., Bhatia, J.J., Abrams, S.A., Corkins, M.R., de Ferranti, S.D., Wright, R.O. (2012). Organic foods: health and environmental advantages and disadvantages. *Pediatrics* 130: e1406-e1415.
- Forster, D., Adamtey, N., Messmer, M.M., Pfiffner, L., Baker, B., Huber, B., Niggli, U. (2013). Organic agriculture – driving innovations in crop research. In: *Agricultural Sustainability: Progress and Prospects in Crop Research*. G.S. Bhuller and N.K. Bhuller (eds.). Elsevier Inc., Oxford, UK. ISBN 978-0-12-404560-6.
- Garry, V.F., Schreinemachers, D.M., Harkins, E., Griffith, J. (1996). Pesticide applicators, biocides, and birth defects in rural Minnesota. *Environmental Health Perspectives* 104: 394-399.
- Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M-C., Séralini G-E (2009). Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology* 262: 184-191.
- Goldner, W.S., Sandler, D.P., Yu, F., Hoppin, J.A., Kamel, F., LeVan, T.D. (2010). Pesticide use and thyroid disease among women in the Agricultural Health Study. *American Journal of Epidemiology* 171: 455-464.
- Goulson, D. (2014). Ecology: Pesticides linked to bird declines. *Nature*: doi: 10.1038/nature13642
- Gunnell D., Eddleston M., Phillips M.R., Konradsen F. (2007). The global distribution of fatal pesticide self-poisoning: systematic review. *BMC Public Health* 7: 357–371.
- Guyton K., Loomis D., Grosse Y., El Ghissassi F., Brenbrahim-Tallaa L., Guha, N., Scoccianti C., Mattock H., Straif K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *Lancet Oncology*. Published online, March 20. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8)
- Hallman, C.A., Foppen, R.P.D., van Turnhouse C.A.M., de Kroon, H., Jongejans, E. (2014). Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*: doi: 10.1038/nature13531
- Harnley, M.E., Bradman, A., Nishioka, M., McKone, T.E., Smith, D., Mclaughlin, R., Kavanagh-Baird G., Castorina, R., Eskenazi, B. (2009). Pesticides in dust from homes in agricultural area. *Environmental Science and Technology*, 43: 8767-8774.
- Henneberger, P.K., Liang, X., London, S.J., Umbach, D.M., Sandler, D.P., Hoppin, J.A. (2014): Exacerbation of symptoms in agricultural pesticide applicators with asthma. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 87: 423-432.
- Holland N, Furlong C, Bastaki M, Richter R, Bradman A, Huen K, et al. (2006). Paraoxonase polymorphisms, haplotypes, and enzyme activity in Latino mothers and newborns. *Environmental Health Perspectives* 114: 985-991.
- Hoppin, J.A., Umbach, D.M., London, S.J., Henneberger, P.K., Kullman, G.J., Coble, J., Alavanja, M.C., Bean Freeman L.E., Sandler, D.P. (2009). Pesticide use and adult-onset asthma among male farmers in the Agricultural Health Study. *European Respiratory Journal* 34: 1296–1303.
- Hsu, C. F., Tsai, M. J., Chen, K. C., Wu, R. C., Hu, S. C. (2013). Can mortality from agricultural pesticide poisoning be predicted in the emergency department? Findings from a hospital-based study in eastern Taiwan. *Tzu Chi Medical Journal*, 25: 32-38.
- Huen, K., Bradman, A., Harley, K., Yousefi, P., Barr, D.B., Eskenazi, B. (2012). Organophosphate pesticide levels in blood and urine of women and newborns living in an agricultural community. *Environmental Research* 117: 8-16.

-
-
- Ismail, A.A., Bodner, T.E., Rohlman, D.S. (2012). Neurobehavioral performance among agricultural workers and pesticide applicators: a meta-analytic study. *Occupational Environmental Medicine* 69: 457-464.
 - Jardim, A.N.O., Caldas, E.D. (2012). Brazilian monitoring programs for pesticide residues in food – results from 2001 to 2010. *Food Control* 25: 607-616.
 - Jurewicz, J., Hanke, W. (2008). Prenatal and childhood exposure to pesticides and neurobehavioural development: Review of epidemiological studies. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 21: 121-132.
 - Kamel, F., Umbach, D.M., Bedlack, R.S., Richards, M., Watson, M., Alavanja, M.C., Blair, A., Hoppin, J.A., Schmidt, S., Sandler, D.P. (2012). Pesticide exposure and amyotrophic lateral sclerosis. *Neurotoxicology* 33: 457-462.
 - Karunanayake, C.P., Spinelli, J.J., McLaughlin, J.R., Dosman, J.A., Pahwa, P., McDuffie, H.H. (2012). Hodgkin lymphoma and pesticides exposure in men: a Canadian case-control study. *Journal of Agromedicine* 17:30–9.
 - Keikotlhaile, B.M., Spanoghe, P., Steurbaut, W. (2010). Effects of food processing on pesticide residues in fruits and vegetables: A meta-analytical approach. *Food and Chemical Toxicology* 48: 1-6.
 - Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R. et al. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters* 16: 584-599.
 - Khuder, S.A., Mutgi, A.B., Schaub, E.A., Tano, B.D. (1999). Meta-analysis of Hodgkin's disease among farmers. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health* 25: 436–441.
 - Kimura-Kuroda J., Komuta, Y., Kuroda, Y., Hayashi, M., Kawano, H. (2012). Nicotine-like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cellular neurons from neonatal rats. *PLoS ONE* 7: e32432
 - Kjeldsen, L.S., Ghisari, M., Bonfeld-Jørgensen, E.C. (2013). Currently used pesticides and their mixtures affect the function of sex hormone receptors and aromatase enzyme activity. *Toxicology and Applied Pharmacology* 272: 453-464.
 - Köhler, H. R., Triebkorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science* 341: 759-765.
 - Koureas, M., Tsakalof, A., Tsatsakis, A. & Hadjichritodoulou, C. (2012). Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology Letters* 201: 155-168.
 - Lacasaña M., López-Flores, I., Rodríguez-Barranco, M., Aguilar-Garduño C., Blanco-Muñoz J., Pérez-Méndez, O., Gamboa, R., Bassol, S. & Cebrian, M.E. (2010). Association between organophosphate pesticides exposure and thyroid hormones in floriculture workers. *Toxicology and Applied Pharmacology* 243: 19-26.
 - Latifah, Y., Sherazi, S.T.F., Bhangar, M.I. (2011). Assessment of pesticide residues in commonly used vegetables in Hyderabad, Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 2299-2303.
 - Law, R.J. (2014). An overview of time trends in organic contaminant concentrations in marine mammals: Going up or down? *Marine Pollution Bulletin* 82: 7-10.

-
-
- LeDoux, M. (2011). Analytical methods applied to the determination of pesticide residues in foods of animal origin: A review of the past two decades. *Journal of Chromatography A* 1218:1021-1036.
 - Lee, W., Blair, A., Hoppin, J., Lubin, J., Rusiecki, J., Sandler, D., Dosemeci, M., Alavanja, M. (2004a). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to chlorpyrifos in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute* 96: 1781-1789.
 - Lee, W.J., Hoppin, J.A., Blair, A., Lubin, J.H., Dosemeci, M., Sandler, D.P., Alavanja, M.C. (2004b). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to alachlor in the Agricultural Health Study. *American Journal of Epidemiology* 159: 373-380.
 - Lee, C-C., Wang, T., Hsieh, C-Y., Tien, C.J. (2005). Organotin contamination in fishes with different living patterns and its implications for human health risk in Taiwan. *Environmental Pollution* 137: 198-208.
 - Lee, H.I., Lin, H.J., Yeh, S.T., Chi, C.H., Guo, H.R (2008). Presentations of patients of poisoning and predictors of poisoning-related fatality: findings from a hospital-based prospective study. *BMC Public Health* 8: 7.
 - Lee, S., Kim, S., Lee, H.K., Lee, I.S., Park, J., Kim, H.J. et al. (2013a). Contamination of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in breast milk in Korea: Time-course variation, influencing factors, and exposure assessment. *Chemosphere* 93: 1578-1585.
 - Lee, P-C., Rhodes, S.L., Sinsheimer, J.S., Bronstein, J. and Ritz, B. (2013b). Functional paraoxonase 1 variants modify the risk of Parkinson's disease due to organophosphate exposure. *Environment International* 56: 42-47.
 - Li, W., Tai, L., Liu, J., Gai, G., Ding, G. (2014). Monitoring of pesticide residues levels in fresh vegetable from Heibei Province, North China. *Environmental Monitoring Assessment*: doi: 10.1007/s10661-014-3858-7
 - Liu, Y-J., Huang P-L., Chang Y-F., Chen, Y-H, Chiou, Y-H., Xu, Z-L., Wong, R-H. (2006). GSTP1 genetic polymorphism is associated with a higher risk of DNA damage in pesticide-exposed fruit growers. *Cancer Epidemiological Biomarkers Preview* 15: 659-66.
 - Lu, C., Toepel, K., Irish, R., Fenske, R.A., Barr, D. B., Bravo, R. (2006). Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides: *Environmental Health Perspectives* 114: 260-263.
 - London, L., Beseler, C., Bouchard, M. F., Bellinger, D. C., Colosio, C., Grandjean, P. et al. (2012). Neurobehavioral and neurodevelopmental effects of pesticide exposures. *Neurotoxicology* 33: 887-896.
 - Lozowicka, B., Jankowska, M., Kaczyński, P. (2012). Pesticide residues in Brassica vegetables and exposure assessment of consumers. *Food Control* 25: 561-575.
 - Mackenzie Ross S., Brewin C., Curran H., Furlong C., Abraham-Smith K., Harrison V. (2010). Neuropsychological and psychiatric functioning in sheep farmers exposed to low levels of organophosphate pesticides. *Neurotoxicology and Teratology* 32: 452-459.
 - Mackenzie Ross S., McManus I., Harrison V., Mason O. (2013). Neurobehavioural problems following low-level exposure to organophosphate pesticides: a systematic and meta-analytic review. *Critical Reviews in Toxicology* 43: 21-44.
 - Manthripragada AD, Costello S, Cockburn MG, Bronstein JM, Ritz B. (2010). Paraoxonase 1, agricultural organophosphate exposure, and Parkinson disease. *Epidemiology* 21:87-94.

-
-
- Mandrich, L. (2014). Endocrine disruptors: The hazards for human health. *Cloning & Transgenesis* 3: 1.
 - Manikkam, M., Tracey, R., Guerrero-Bosagna, C., Skinner, M. K. (2012). Pesticide and insect repellent mixture (permethrin and DEET) induces epigenetic transgenerational inheritance of disease and sperm epimutations. *Reproductive Toxicology* 34: 708-719.
 - Marks, A.R., Harley, K., Bradman, A., Kogut, K., Barr, D.B., Johnson, C., Calderon, N., Eskenazi, B. (2010). Organophosphate pesticide exposure and attention in young Mexican-American children: The CHAMACOS Study. *Environmental Health Perspectives* 118: 1768-1774.
 - Meyer-Baron, M., Knapp, G., Schäper, M., van Thriel, C. (2015). Meta-analysis on occupational exposure to pesticides–Neurobehavioral impact and dose–response relationships. *Environmental Research* 136: 234-245.
 - Menegon, A., Board, P. G., Blackburn, A. C., Mellick, G. D., Le Couteur, D. G. (1998). Parkinson's disease, pesticides, and glutathione transferase polymorphisms. *The Lancet* 352: 1344-1346.
 - Merletti, F., Richiardi, L., Bertoni, F., Ahrens, W., Buemi, A., Costa-Santos, C., et al. (2006). Occupational factors and risk of adult bone sarcomas: A multicentric case-control study in Europe. *International Journal of Cancer* 118: 721-727.
 - Mills, P.K., Shah, P. (2014). Cancer incidence in California farm workers, 1988–2010. *American Journal of Industrial Medicine* 57: 737-747.
 - Mnif, W., Hassine, A., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., Roig, B. (2011). Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8: 2265-2303.
 - Morais, S., Dias, E., Pereira, M.L. (2012). Carbamates: human exposure and health effects. M. Jokanovic (ed.), *The Impact of Pesticides*, WY Academy Press, Cheyenne, pp. 21–38.
 - Morgan, M.K., Sheldon, L., Croghan, C., Jones, P., Chuang, J., Wilson, N. (2007). An observational study of 127 preschool children at their homes and daycare centers in Ohio: environmental pathways to cis-and trans-permethrin exposure. *Environmental Research* 104: 266-74.
 - Morgan, M.K., Wilson, N.K., Chuang, J.C. (2014). Exposures of 129 Preschool Children to Organochlorines, Organophosphates, Pyrethroids, and Acid Herbicides at Their Homes and Daycares in North Carolina. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11: 3743-3764.
 - Mostafalou, S., Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology* 268: 157-177.
 - Muñoz-Quezada, M.T., Iglesias, V., Lucero, B., Steenland, K., Barr, D.B., Levy, K., Ryan, P., Alvarado, S., Concha, C. (2012). Predictors of exposure to organophosphate pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile. *Environment International* 47: 28-36.
 - Muñoz-Quezada, M.T., Lucero, B.A., Barr, D.B., Steenland, K., Levy, K., Ryan, P.B., Iglesias, V., Alvarado, S., Concha, C., Rojas, E., Vega, C. (2013). Neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: a systematic review. *Neurotoxicology* 39: 158-168.
 - Naeher, L.P., Tolve, N.S., Egeghy, P.P., Barr, D.B., Adetona, O., Fortmann, R.C., Needham, L., Bozeman, E., Hilliard, A., Sheldon, L. S. (2010). Organophosphorus and pyrethroid insecticide urinary metabolite concentrations in young children living in a southeastern United States city. *Science of the Total Environment* 408:1145-1153.

-
-
- Narayan, S., Liew, Z., Paul, K., Lee, P-C., Sinsheimer, J.S., Bronstein, J.M., Ritz, B. (2013): Household organophosphorous pesticide use and Parkinson's disease. *International Journal of Epidemiology* 42: 1476-1485.
 - Ochoa-Acuna, H., Carbajo, C. (2009). Risk of limb birth defects and mother's home proximity to cornfields. *Science of the Total Environment* 407: 4447-4451.
 - Oliva, A., Spira, A., Multigner, A. (2001). Contribution of environmental factors to the risk of male infertility. *Human Reproduction* 16: 1768-1776.
 - Ollerton J., Winfree, R., Tarrant, S., (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120: 321-326.
 - Orsi, L., Delabre, L., Monnereau, A., et al. (2009). Occupational exposure to pesticides and lymphoid neoplasms among men: results of a French case-control study. *Occupational Environmental Medicine* 66: 291-8.
 - PAN (2008). Which pesticides are banned in Europe. Updated April 2008. Pesticide Action Network. http://www.pan-europe.info/Resources/Links/Banned_in_the_EU.pdf
 - Pahwa P., Karunanayake C.P., Dosman J.A., Spinelli J.J., McDuffie H.H., McLaughlin J.R. (2012). Multiple myeloma and exposure to pesticides: A Canadian case-control study. *Journal of Agromedicine* 17:40-50.
 - Parks, C.G., Wallit, B.T., Pettinger, M., Chen, J.C., de Roos, A.G., Hunt, J., Sarto, G., Howard, B.V. (2011). Insecticide use and risk of rheumatoid arthritis and systemic lupus erythematosus in the Women's Health Initiative Observational Study. *Arthritis Care Research (Hoboken)* 63: 184-194.
 - Pathak, R., Ahmed, R.S., Tripathi, A.K., Guleria, K., Sharma, C.S., Makhijani, S.D., Banerjee. (2009). Maternal and cord blood levels of organochlorine pesticides: association with preterm labour. *Clinical Biochemistry* 42: 746-749
 - Pathak, R., Mustafa, M., Ahmed, R.S., Tripathi, A.K., Guleria, K., Banerjee, B.D. (2010). Association between recurrent miscarriages and organochlorine pesticide levels. *Clinical Biochemistry* 43: 131-135.
 - Parrón, T., Requena, M., Hernández, A.F., Alarcón, R. (2013). Environmental exposure to pesticides and cancer risk in multiple human organ systems. *Toxicology Letters* 230: 157-165.
 - Pastor, P. and Reuben, C. (2008). Diagnosed attention deficit hyperactivity disorder and learning disability: United States, 2004-2006. *Vital and Health Statistics. Series 10, Data from the National Health Survey* 237: 1-14.
 - Perrotta C., Staines A., Cocco P. (2008). Multiple myeloma and farming. A systematic review of 30 years of research. Where next? *Journal Occupational Medicine and Toxicology* 2008; 3:27.
 - Perry, L., Adams, R.D., Bennett, A.R., Lupton, D.J., Jackson, G., Good, A.M., Thomas, S.H., Vale, J.A., Thompson, J.P., Bateman, D.N., Eddleston, M. (2014). National toxicovigilance for pesticide exposures resulting in health care contact – An example from the UK's National Poisons Information Service. *Clinical Toxicology* 52: 549-555.
 - Pezzoli, G., Cereda, E. (2013). Exposure to pesticides or solvents and risk of Parkinson disease. *Neurology* 80: 2035-2041.
 - Pruss-Ustun, A., Vickers, C., Haefliger, P., Bertollini, R. (2011). Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review. *Environmental Health* 10: 9-24.

-
-
- Raab, U., Albrecht, M., Preiss, U., Völkel, W., Schwegler, U., Fromme, H. (2013). Organochlorine compounds, nitro musks and perfluorinated substances in breast milk—Results from Bavarian Monitoring of Breast Milk 2007/8. *Chemosphere* 93: 461-467.
 - Ragouc-Sengler, C., Tracqui, A., Chavonnet, A., Daijardin, J.B., Simonetti, M., Kintz, P., Pileire, B. (2000). Aldicarb poisoning. *Human & Experimental Toxicology* 19: 657-662.
 - Rasoul, G.M.A., Salem, M.E.A., Mechael, A.A., Hendy, O.M., Rohlman, D.S., Ismail, A.A. (2008). Effects of occupational pesticide exposure on children applying pesticides. *Neurotoxicology* 29: 833-838.
 - Rauh, V., Arunajadadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D.B., Whatt, R. (2011). Seven-year neurodevelopment scores and prenatal exposure to chlorpyrifos, a common agricultural pesticide. *Environmental Health Perspectives* 119: 1196-1201.
 - Rauh, V.A., Perera, F.P., Horton, M.K., Whyatt, R.M., Bansal, R., Hao, X., Liu, J., Barr, D.B., Slotkin, T.A., Peterson B.S. (2012). Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *Proceedings of the National Academy of Sciences (US)* 109: 7871-7876.
 - Ray, D.E., Richards, P.G. (2001). The potential for toxic effects of chronic, low-dose exposure to organophosphates. *Toxicology Letters* 120: 343-351.
 - Reffstrup, T.K., Larsen, J.L., Meyer, O. (2010). Risk assessment of mixtures of pesticides: Current approaches and future strategies. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 56: 174-192.
 - Rojas-Squella, X., Santos, L., Baumann, W., Landaeta, D., Jaimes, A., Correa, J. C. et al. (2013). Presence of organochlorine pesticides in breast milk samples from Colombian women. *Chemosphere* 96: 733-739.
 - Sanghi, R., Pillai, M.K.K., Jaylekshmi, Nair, A. (2003). Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in breast milk from Bhopal, Madhya Pradesh, India. *Human & Experimental Toxicology* 22: 73-76.
 - Schenck, F.J., Donoghue, D.J. (2000). Determination of organochlorine and organophosphorus pesticide residues in eggs using a solid phase extraction cleanup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 6412-6415.
 - Schummer, C., Salquèbre, G., Briand, O., Millet, M., Appenzeller, B.M. (2012). Determination of farm workers' exposure to pesticides by hair analysis. *Toxicology Letters* 210: 203-210.
 - Sharma, E., Mustafa, M., Pathak, R., Guleria, K., Ahmed, R.S., Vaid, N.B., Banerjee, B. D. (2012). A case control study of gene environmental interaction in fetal growth restriction with special reference to organochlorine pesticides. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* 161: 163-169.
 - Sharma, A., Gill, J.P.S., Bedi, J.S., Pooni, P.A. (2014). Monitoring of Pesticide Residues in Human Breast Milk from Punjab, India and Its Correlation with Health Associated Parameters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 93: 465-471.
 - Shim, W.J., Hong, S.H.m Kim, N.S., Yim, U.H., Li, D., Oh, J.R. (2005). Assessment of butyl- and phenyltin pollution in the coastal environment of Korea using mussels and oysters. *Marine Pollution Bulletin* 51: 922-931.
 - Slager, R.E., Simpson, S.L., Levan, T.D., Poole, J.A., Sandler, D.P., Hoppin, J.A. (2010). Rhinitis associated with pesticide use among private pesticide applicators in the agricultural health study. *Journal of Toxicology and Environmental Health A* 73: 1382-1393.

-
-
- Soderlund, D.M. (2012). Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: recent advances. *Archives of Toxicology* 86: 165-181.
 - Solomon, G. M., Weiss, P. M. (2002). Chemical contaminants in breast milk: time trends and regional variability. *Environmental Health Perspectives* 110: A339.
 - Starks, S.E., Gerr, F., Kamel, F., Lynch, C.F., Jones, M.P., Alavanja, M.C., Sandler, D.P., Gerr, F., Hoppin, J.A (2012a). High pesticide exposure events and central nervous system function among pesticide applicators in the Agricultural Health Study. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 85: 505-515.
 - Starks, S.E., Hoppin, J.A., Kamel, F., Lynch, C.F., Jones, M.P., Alavanja, M.C., Sandler, D.P., Gerr, F. (2012b). Peripheral nervous system function and organophosphate pesticide use among licensed pesticide applicators in the Agricultural Health Study. *Environmental Health Perspectives* 120: 515-520.
 - Starr, J., Graham, S., Stout, I. (2008) Pyrethroid pesticides and their metabolites in vacuum cleaner dust collected from homes and day-care centers. *Environmental Research* 108:271-9.
 - Sutton P., Perron J., Giudice, L.C., Woodruff, T.J. (2011). Pesticides Matter. A primer for reproductive health physicians. University of California, San Francisco, Program on Reproductive Health and the Environment.
 - Tolosa, J.M., Bayona, J., Albaiges, L., Merlini, N., de Bertrand, M. (1992). Occurrence and fate of tributyl- and triphenyltin compounds in western Mediterranean coastal enclosures. *Environmental Toxicological Chemistry* 11: 145.
 - Tsai, W-T. (2010). Current status and regulatory aspects of pesticides considered to be persistent organic pollutants (POPs) in Taiwan. *Journal of Environmental Research Public Health* 7: 3615-3627.
 - Turner, M.C., Wigle, D.T., Krewski, D., (2010). Residential pesticides and childhood leukemia: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives* 118: 33-41.
 - Ulaszewska, M, Zuccato, E., Davoli, E. (2011). PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in human milk and estimation of infants' daily intake: a review. *Chemosphere* 83: 774-782.
 - Vale, J.A., Bradberry, S., Proudfoot, A.T. (2012). Clinical toxicology of insecticides. In *Mammalian Toxicology of Insecticides*, ed. by Marrs TC. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 312-347.
 - van der Mark M, Brouwer M, Kromhout H, Nijssen P, Huss A, Vermeulen R. (2012) Is pesticide use related to Parkinson disease? Some clues to heterogeneity in study results. *Environmental Health Perspectives* 120: 340-7.
 - van Thriel, C., Hengstler, J.G., Marchan, R. (2012). Pyrethroid insecticide neurotoxicity. *Archives of Toxicology* 86: 341-342.
 - Van Maele-Fabry G., Duhayon S., Lison D. (2007). A systematic review of myeloid leukemias and occupational pesticide exposure. *Cancer Causes Control* 18:457-78.
 - Van Maele-Fabry, G., Lantin, A-C., Hoet, P., Lison, D. (2010). Childhood leukaemia and parental occupational exposure to pesticides: a synthetic review and meta-analysis. *Cancer Causes Control* 21: 787-809.
 - Van Maele-Fabry, G., Hoet, P., Vilain, F., Lison, D. (2012). Occupational exposure to pesticides and Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environment International* 46: 30-43.

-
-
- Vinson, F., Merhi, M., Baldi, I., Raynal, H., Gamet-Payrastre, L. (2011). Exposure to pesticides and risk of childhood cancer: a meta-analysis of recent epidemiological studies. *Occupational and Environmental Medicine* 68: 694-702.
 - Wang, C.H., Lui, C. (2000). Dissipation of organochlorine insecticide residues in the environment of Taiwan, 1973-1999. *Journal of Food and Drug Analysis* 8: 149-158.
 - Wang, A., Cockburn, M., Ly, T., Bronstein J.M., Ritz, B. (2014). The association between ambient exposure to organophosphates and Parkinson's disease risk. *Occupational Environmental Medicine* 71: 275-281.
 - Weichenthal S., Moase, C., Chan, P. (2012). A review of pesticide exposure and cancer incidence in the agricultural health study cohort. *Environmental Health Perspectives* 118: 1117-1125.
 - Weiss B. (2000). Vulnerability of children and the developing brain to neurotoxic hazards. *Environmental Health Perspectives* 108:375-381.
 - Weldon, R.H., Barr, D.B., Trujillo, C., Bradman A., Holland, N. Eskenazi, B. (2011). A pilot study of pesticides and PCBs in the breast milk of women residing in urban and agricultural communities of California. *The Royal Society of Chemistry* DOI: 10.1039/c1em10469a.
 - Whyatt, R.M., Rauh, V., Barr, D.B., et al. (2004). Prenatal insecticide exposures and birth weight and length among an urban minority cohort. *Environmental Health Perspectives* 112:1125-1132.
 - Wigle, D.T., Turner, M.C., Krewski, D. (2009). A systematic review and meta-analysis of childhood leukemia and parental occupational pesticide exposure. *Environmental Health Perspectives* 117: 1505-1513.
 - Wilkowska, A., Biziuk, M. (2011). Determination of pesticide residues in food matrices using the QuEChERS methodology. *Food Chemistry* 125: 803-812.
 - Willet, K.L., Ulrich, E.M., Hites, A. (1998). Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers. *Environmental Science and Technology* 32: 2197-2207.
 - Wohlfahrt-Veje, C., Andersen, H.R., Schmidt, I.M., Aksglaede, L., Sørensen, K., Juul, A., Jensen, T., Grandjean, P., Sakkebæk, N., Main, K.M. (2012). Early breast development in girls after prenatal exposure to non-persistent pesticides. *International Journal of Andrology* 35: 273-282.
 - World Health Organisation. (2008). *The global burden of disease: 2004 update*. Geneva, 2008.
 - Yi, A. X., Leung, K. M., Lam, M. H., Lee, J. S., Giesy, J. P. (2012). Review of measured concentrations of triphenyltin compounds in marine ecosystems and meta-analysis of their risks to humans and the environment. *Chemosphere* 89: 1015-1025.
 - Yuan, Y., Chen, C., Zheng, C., Wang, X., Yang, G., Wang, Q., Zhang, Z. (2014). Residue of chlorpyrifos and cypermethrin in vegetables and probabilistic exposure assessment for consumers in Zhejiang Province, China. *Food Control* 36: 63-68.
 - Zaganas, I., Kapetanaki, S., Mastorodemos, V., Kanavouras, K., Colosio, C., Wilks, M., Tsatsakis, A. (2013). Linking pesticide exposure and dementia: What is the evidence? *Toxicology* 307: 3-11.

GREENPEACE

グリーンピースは環境保護と平和を願う市民の立場で活動する国際環境NGOです。問題意識を共有し、社会を共に変えるため、政府や企業から資金援助を受けずに独立したキャンペーン活動をしています。

原題 Pesticides and our Health: a growing concern

2015年5月 発行

発行：グリーンピース・エクセター研究所

Written by: Allsop, M; Huxdorff, C; Johnston, P; Santillo, D; Thompson, K

Cover image: フランスのリンゴ園の農薬散布

© Greenpeace / Chris Petts

Layout design and infographics: Juliana Devis

Published in May 2015 by
Greenpeace Research Laboratories
School of Biosciences
Innovation Centre Phase 2
Rennes Drive
University of Exeter
Exeter EX4 4RN
United Kingdom

For more information contact:

isunit@greenpeace.org

(英語版)

日本語版制作・発行 (2015年6月)

国際環境NGO 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

www.greenpeace.org/japan



GREENPEACE