

日本の港周辺における遺伝子組換えナタネの野生化と環境への影響

Masaharu Kawata (河田昌東)

Yokkaichi University, Japan (四日市大学)

はじめに

日本は年間200万トンを超えるナタネを食用油原料として、その約90%をカナダから輸入している。2009年にはカナダ産のナタネの約90%は遺伝子組換えで、その殆どは除草剤耐性である。その結果、国内の輸入港周辺で遺伝子組換えナタネの自生が起こっている。我々は国内のアブラナ科植物に組換え遺伝子が侵入するのを防ぐために、2004年以来自生遺伝子組換え西洋ナタネの調査を続けて来た。なぜなら、国内では遺伝子組換え西洋ナタネの商業栽培は行なわれていないからである。主な調査地域は四日市港と名古屋港周辺である。過去の多くの実験や野外調査 (Cheve et al. 1997, Brown et al. 2005, Beckie et al. 2006) によれば、西洋ナタネ (*Brassica napus*) と他のナタネ類やアブラナ科の他の属の植物との遺伝的交配が起こることを示しているの、遺伝子組換え西洋ナタネから他のアブラナ科植物への組換え遺伝子の伝播の懸念があるからである。我々の調査は、過去数年間に国内で在来作物や自然の雑草への組換え遺伝子の伝播が起こったことを示している。

材料と方法

試料は港から製油工場への道路沿いで採取した。2004年以来、四日市港周辺では30回の調査が行なわれた。通常、在来のアブラナ科植物は冬から春にかけて成長する一年草だが、多くの西洋ナタネは道路沿いに年間を通じて自生し、しばしば開花しているものもあった。西洋ナタネと在来種のアブラナ科植物 (*B. rapa*, *B. juncea* および *B. oleracea*) が分析に使われた。2009年と2010年にはナタネとは異なる属の雑草 (*Sisymbrium sp.*) も四日市地域で分析用に採取された。試料は簡単な試験紙 (lateral flow test) で分析された。これは除草剤耐性遺伝子が作る特殊な蛋白質を検出するために免疫クロマトグラフィーを使う方法である。2種類の除草剤耐性、グリフォサート耐性とグルフォシネート耐性を調べた。グリフォサート耐性かどうかは、*Agrobacterium tumefaciens* 由来のCP4EPSPS蛋白質を、グルフォシネート耐性かどうかは *Streptomyces hygroscopicus* 由来のPAT 蛋白質を検出する。必要に応じてPCR法による遺伝子DNAの検出も併用した。

結果

我々が2004年7月に初めて四日市港周辺を調査した際には、数多くの西洋ナタネが発見された。それらは四日市港から40Kmはなれた製油工場にいたる道路沿いに自生していた。西洋ナタネ自生の原因はトラック輸送途中の種子のこぼれ落ちである。道路沿いの西洋ナタネは年間を通じて開花、結実、あるいは発芽しているものもあった。これは、国内のアブラナ科植物の多くが一年草であるのに対し、自生西洋ナタネが多年草化していることを示すものである。季節を問わない西洋ナタネの自生は在来のアブラナ科作物や野生の西洋カラシナ *B. juncea* その他のアブラナ科植物との交雑のチャンスが増えることを意味する。西洋ナタネは多年草化によって、しばしば巨大化した個体も見られた。また、この地域では、あるものは沢山の個体の集落をつくり、またあるものは1本だけで自生していた。西洋ナタネの世代交代も見られた。自生西洋ナタネは種子をばら撒き、周辺に自ら子孫を作っている。従って、種子のこぼれ落ち防止のためにトラックの改善を行なっても状況を効果的に改善することは出来ない。過去7年間に遺伝子組換え種の混入割合は著しく増加した。2009年には、自生西洋ナタネの70%以上が除草

剤耐性であった。2008年と2009年の調査で、グリフォサートとグルフォシネートの2種類の除草剤に耐性の西洋ナタネも見つかった。これらの試料は、PCR法でも分析され、2種類の除草剤耐性遺伝子DNA配列の存在が確かめられた。このことは、2種類の組換え遺伝子を持つ西洋ナタネが混在し自生することによって、互いの交雑が起こったことを示す。除草剤耐性西洋ナタネと他の在来種のアブラナ科植物が同時に生長することにより、両者の交雑の機会が増加する。我々は、2008年と2009年に、愛知県豊川市内のナタネ加工工場周辺で、グリフォサート耐性の西洋ナタネと野生の西洋カラシナとの交雑種、さらに在来ナタネ*B.rapa*との交雑種を発見した。この工場は船による輸入途中でカビやゴミで汚染し、食用に適さなくなった汚染ナタネを加工し、機械油（切削油）を製造している。この工場の周辺の川の堤防には西洋カラシナや在来ナタネの大群落が自生している。さらに、我々は2009年に四日市地域の道路端でグリフォサート耐性のブロッコリ *Brassica oleracea* を見つけた。

2009年と2010年には、我々はGM-OSRと属の異なるアブラナ科雑草*Sisymbrium sp.*との交雑種を発見した。この雑草は国内で広く分布する。この植物はナタネ属*Brassica sp.*の植物とはまったく形態が異なるが、除草剤耐性である。この植物があるそばには多くの場合、ハタザオガラシ*Sisymbrium altissimum*という雑草が生えている。グリフォサート耐性と、グルフォシネート耐性の雑草が観察された。四日市地域にはグリフォサート耐性とグルフォシネート耐性の両方の性質を持つ雑草も見ついている。これらも、PCR法で対応する塩基配列を確認した。これら*Sisymbrium*属の雑草の多くは種子を付けず不稔性であった。しかし、中には*Sisymbrium*属とは異なる種子を付けるものもある。これら、除草剤耐性の雑草は2009年には1株、2010年には13株見ついている。これらの内92.5%は除草剤耐性で、組換え遺伝子の割合が異常に高い。

3

議論

日本は年間200万トン以上のナタネを輸入するが、その多くはカナダからである。2009年にはカナダ産ナタネの90%以上は遺伝子組換え体である。こうした状況を反映して、国内のナタネ輸入港周辺で自生する西洋ナタネの相当の割合が除草剤耐性であることは、上記のとおりである。日本の西洋ナタネ自生に関してはすでに報告されている（Saji et.al 2005, 及び Kawata et.al 2009）ナタネとそれに関連する野生種との交雑の可能性は、組換え遺伝子の栽培作物や野生近縁種への伝播の懸念があることから、遺伝子組換え作物の開発当初から多くの研究者によって報告されてきた（Mikkelsen et al.1996, Timmons et al. 1996）。J.Brown ら(1996)は遺伝子組換え西洋ナタネの商業栽培が始まる前に、除草剤耐性西洋ナタネと近縁野生種との広範な受粉実験を野外で行った。彼らは、種子のこぼれ落ちでナタネが自生することや花粉の流れが風によって左右されること、遺伝子組換えキャノーラ*B.napus*とその近縁種との交雑が野外で起こること、その交雑個体と関連する近縁種との交雑（戻し交配）が、除草剤耐性遺伝子の自然界の雑草群落への伝播に大きな役割をすること、などを報告している。R.G. FitzJohn ら（2007）は*Brassica*種とそれに関連するアブラナ科属植物との交雑による組換え遺伝子の伝播の感情性に関する数多くの報告をレビューしている。彼らは、*B.rapa*, *B.juncea* と *B.oleracea*を含む、少なくとも23種のアブラナ科植物が*B.napus*と成功裏に交雑できる、と報告している。さらに、*Sisymbrium*属を含む16の異なる属の植物も*B.napus*と雑種を作りうることを報告した。L.B.Hansen ら（2001、2003）は、自然の群落内で*Brassica napus*と*B.rapa*の間に広範な遺伝子交換がおり、伝播した遺伝子が次ぎの世代以降に伝えられていくことを証明した。日本国内での条件下での*B.napus*から*B.rapa*への組換え遺伝子伝播は、C.M.Lu（2002）による詳細な遺伝学的分析で示されている。

遺伝子組換え西洋ナタネの多年草化は近縁栽培作物や野生の雑草との交雑のチャンスを増やしている。我々は、日本国内に多数の*B.rapa*と*B.oleracea*の栽培種をもつ。野生の*B.juncea*は多くの河川敷に自生している。我々による遺伝子組換え西洋ナタネと*B.rapa*, *B.juncea* それに *B.oleracea* との交

雑種の発見は、こうした可能性が現実のものであることを示している。除草剤耐性の雑草 *Sisymbrium sp.* は国内の自然環境下における最初の例である。それらの多くは不稔性だが、ある個体は種子をつけている場合もある。もし、この雑種の種子が発芽成長し、親の雑草と戻し交配するようなことがあれば、組換え遺伝子の環境へ侵入が起こり、生物多様性保護に影響を与えるだろう。

結論

日本国内のナタネ輸入港周辺における遺伝子組換えナタネの意図しない拡散について、2004年以降、とくに四日市港周辺で調査を行ない、グリフォサート及びグルフォシネート耐性の西洋ナタネの自生を確認した。西洋ナタネの多年草化や世代交代も確認した。自生西洋ナタネの原因は港から製油工場までのトラック輸送の際の種子のこぼれ落ちである。2種類の除草剤に耐性の西洋ナタネも観察された。これは、異なる遺伝子組換え西洋ナタネ同士の間で自然環境下における受粉と交雑が起こったことを意味する。我々は、除草剤耐性西洋ナタネと栽培種 (*B.rapa* and *B.oleracea*) との交雑個体を複数発見した。加えて、2008年から2010年にかけて、GM西洋ナタネと雑草 *B.juncea* 及び *Sisymbrium sp.* との交雑種も発見した。雑草への組換え遺伝子の伝播は生物多様性保護に対し、影響を与えるであろう。

参考文献

- Chevre, A.-M., Eber, F., Baranger, A. & Michel Renard. 1997. Gene flow from transgenic crops. *Nature* 389: 924. <http://www.nature.com/nature/journal/v389/n6654/abs/389924a0.html>
- Beckie, H.J., Harker, K.N., Hall, L.M., Warwick, S.I., Legere, A., Sikkema, P.H., Clayton, G.W., Thomas, A.G., Leeson, J.Y., Seguin-Swartz, G. & Simard, M.J. 2006. A decade of herbicide-resistant crops in Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 1243-1264. <http://tinyurl.com/3yo5d8x>
- Brown, J., Thill, D.C., Brown, A.P., Mallory-Smith, C., Brammer, T.A. & Nair, H.S.. 1996. Gene transfer between canola (*Brassica napus* L.) and related weed species. *Annals of Applied Biology*:129:513-522. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05773.x/abstract>
- FitzJohn, R.G., Armstrong, T.T., Newstrom-Lloyd L.E., Wilton A.D. & Cochrane M. 2007. Hybridisation within *Brassica* and allied genera: Evaluation of potential for transgene escape. *Euphytica* 158: 209-230. <http://www.springerlink.com/content/h64544p851w78131/>
- Hansen, L.B., Siegemund, H.R. & Jorgensen, R.B. 2003. Progressive introgression between *Brassica napus* (oilseed rape) and *B.rapa*. *Heredity* 91: 276-283. <http://www.nature.com/hdy/journal/v91/n3/full/6800335a.html>
- Hansen, L.B., Siegismund, H.R. & Jorgensen, R.B. 2001/ Introgression between oilseed rape (*Brassica napus* L.) and its weedy relative *B. rapa* L. in a natural population. *Genet. Resour. Crop Evol.* 48: 621-627. <http://www.springerlink.com/content/r0u1501857662n86/>
- Kawata, M., Murakami, K. & Ishikawa T. 2009/ Dispersal and persistence of genetically modified oilseed rape around Japanese harbors. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 16: 120-126. <http://www.springerlink.com/content/f1n4770t1h086678/>
- Lu, C.M., Kato, M. & Kakiyama, F. 2002. Destiny of a transgene escape from *Brassica napus* into *Brassica rapa*. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 105: 78-84. <http://www.springerlink.com/content/9bw1f3e0chjd7aaw/>
- Mikkelsen, T.R., Andersen, B. & Jorgensen, R.B. 1996. The risk of crop transgene spread. *Nature* 380: 31. <http://www.nature.com/nature/journal/v380/n6569/abs/380031a0.html>
- Saji, H., Nakajima, N., Aono, M., Tamaoki, M., Kubo, A. & Wakiyama S. 2005. Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides. *Environmen Biosafety Res.* 4: 217-222. <http://tinyurl.com/3alg2r7>
- Timmons, A.M., et al. 1996. Risks from transgenic crops. *Nature* 380: 487. <http://www.nature.com/nature/journal/v380/n6574/abs/380487a0.html>