



Bt 转基因水稻——食品安全问题及环境威胁

引言

转 Bt 基因抗虫水稻尚未在全球任何地区获准种植，对于 Bt 转基因水稻也未通过任何环境影响评估和人类食品安全评估。但是，从其它 Bt 转基因作物（如玉米和棉花）的研究结果中，已经可以推断出 Bt 水稻会对环境造成极大的影响，并且引起人类食品安全问题。

Bt 转基因水稻的食品安全问题包括：

- 稻米是很多人的主食。
- 缺乏食品安全评估。
- Cry1Ac 是一种可能的致敏原。

抗虫 Bt 转基因水稻在以下情况下可能对环境产生负面的影响：

- 伤害非靶标物种，或
- 促进更难对付的杂草的出现；
- 昆虫通过进化，对引入的毒素产生了耐受性，因而需要加大药量控制。
- 基因库遭到污染。

什么是转 Bt 基因抗虫水稻？

转 Bt 基因抗虫水稻对某些特定的害虫（如稻纵卷叶螟和三化螟¹）具有抗性。Bt 基因簇的生成方法是将野生土壤细菌苏云金芽孢杆菌（*Bacillus thuringiensis*）中的基因经人工合成后，插入到植物自身的 DNA 中，使得植物可以自己产生毒素杀死害虫。

目前已知的正在实验室或田间进行试验的 Bt 转基因水稻有几个不同的品种，它们产生的 Bt 毒素略有不同，包括 Cry1Ab、Cry1Ac 和将两种毒素“融合”在一起的 Cry1Ab/Cry1Ac，这些 Bt 毒素的性质略有不同。大多数环境研究都是针对 Cry1Ab 毒素进行的，这种毒素在 Bt 玉米中最为常见。Cry1Ac 则涉及人类食品安全问题。但是对于融合毒素 Cry1Ab/Cry1Ac 对人类食品安全和环境的影响和威胁，却知之甚少，或者说完全一无所知，因为全球各地都未将它运用于任何商业种植的转基因粮食作物中，而自然界中也无野生种可作比较。孟山都的保铃棉（Bollgard）中确实有一段含 Cry1Ab/Cry1Ac 的基因²，但尚不清楚它与转基因水稻中的 Bt 蛋白是否相同，而且棉花也不是粮食作物。

Bt 转基因水稻与食品安全

平均而言，中国人摄入热量中有 30% 来源于稻米，而蛋白质中则有 19%³。稻米在各年龄段都是饮食中重要的部分，包括婴儿在断奶阶段常吃的米粉和稀粥⁴。而转基因玉米和大豆主要被用作动物饲料，所以从这些作物得出的经验不能被直接套用来推断转基因稻米的安全性。

关于食品安全的关键问题有：

- 1) 转基因是否会导致带来潜在危害的非预期变化，如果真的出现，这些改变将造成怎样的影响；
- 2) 在转基因的过程中，被引入的基因产物是否会产生毒性或致敏性。

目前对于 Bt 水稻还未通过任何食品安全评估，对于 Cry1Ab 转基因水稻所知有限⁵。而对于 Cry1Ab/Cry1Ac 融合毒素更是一无所知，完全不了解它的食品安全性。

至于 Cry1Ac，它的潜在致敏性令人担忧。在对 Cry1Ac 毒素免疫性的研究⁶中发现：

- Cry1Ac 原毒素是一种有效免疫原。
- 原毒素通过腹腔（注射）和消化道（吸收）途径都能产生免疫性。
- 对原毒素的免疫反应既是细胞组织性的也是粘膜性的。
- 在小鼠小肠内 Cry1Ac 原毒素能与表面蛋白结合。

这些研究报告说明在使用 Cry1Ac 转基因水稻时应非常小心。

虽然稻米中的 Bt 毒素很可能可以在食用前烹饪的过程中被部分甚至全部降解，但目前仍没有确凿资料可以证明。对这种潜在的致敏性需要特别小心谨慎，尤其是像水稻这样重要的粮食作物。Bt 转基因水稻中的 Cry1Ac 或融合蛋白的致敏性问题可能影响到相关的管理规定。比如，星联（StarLink）Bt 玉米就因为它可能产生致敏性，而在北美被禁止用作人类的食物。

联合国粮食与农业组织（FAO）与世界卫生组织（WHO）共同设立的食品法典委员会（Codex Alimentarius）正致力于制订转基因食品安全试验的国际标准，采取了一种叫“决策树”（decision tree）的方法⁷，即一旦发现任何可能出现过敏症的证据（比如 Cry1Ac 的情况），就必须按照联合国粮农组织和世界卫生组织的指导准则，对其致敏风险进行非常彻底和详细的评估。因此，作为一个潜在致敏原，Cry1Ac 必须经过彻底研究，而研究却至今未果。

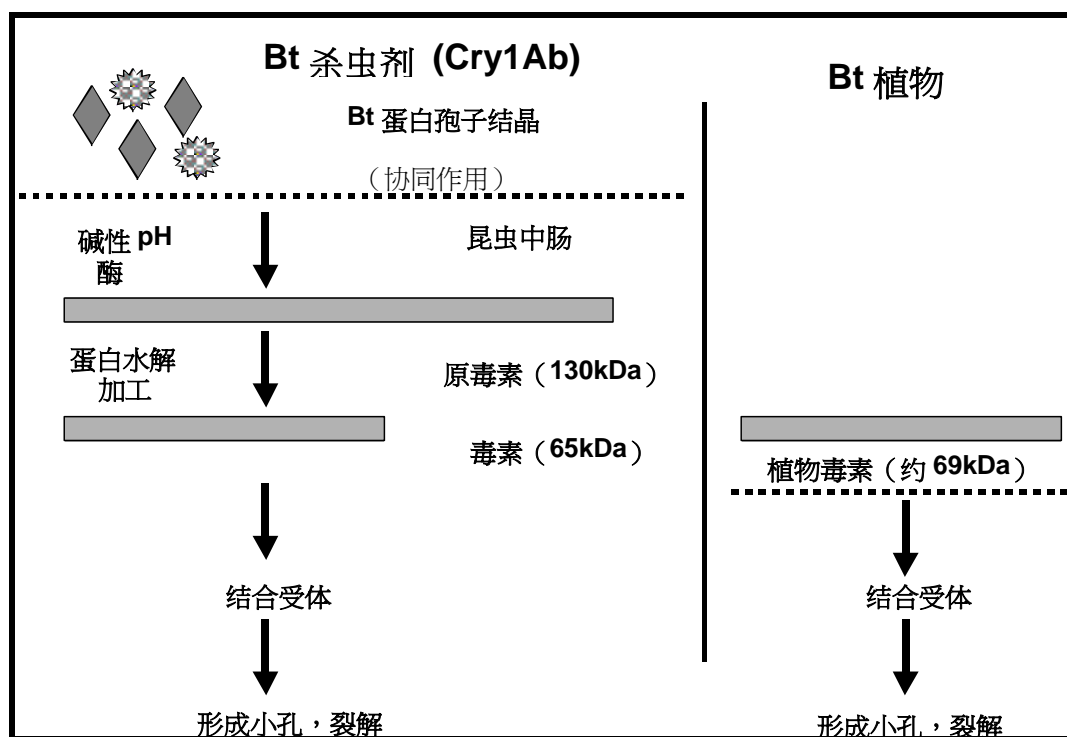
Bt 转基因水稻的人类食品安全性还未为人知，必须对其致敏性进行彻底的研究。

Bt 转基因水稻对非靶标生物的影响

自 50 年代起，采用有机种植方式和其它可持续种植方式的农民们就用天然的 Bt 作为喷剂杀灭害虫，它不会伤害到非靶标昆虫或其它野生生物。然而，由抗虫水稻产生的 Bt 毒素却与之完全不同，它有可能对有益的天敌昆虫造成伤害。

天然的 Bt 喷剂对非靶标生物的影响很小，因为细菌的“原毒素”处于失活状态，只有在某些（靶标）昆虫幼虫的肠道中才会经过加工而具有毒性。与之相反，许多抗虫植物中含

有一种人工生成的、经过切割的 Bt 基因，稍经加工便可产生毒性。因此它的选择性较弱，不仅会伤害到想要杀灭的害虫，也会伤害到那些本不含有可加工原毒素的酶类的非靶标昆虫（图 1）⁸。



天然 Bt 喷剂中的 Bt 蛋白在田间会在紫外光的作用下比较迅速地降解，在喷洒后的几天至两个星期后即会失去大部分毒性⁹。但是在 Bt 作物中，植物一生都会持续不断地产生 Bt 毒素。

直接影响：

和其它 Bt 作物一样，Bt 转基因水稻可以直接通过摄入含有毒素的花粉或植物残体，也可间接通过捕食摄入了毒素的昆虫，而对非靶标生物造成伤害。这可能会减少重要物种的数量，或是减少自然中那些帮助控制害虫的益虫数量，从而危害到整个生态系统。

转基因水稻中的 Bt 毒素对鳞翅目（蝶类和蛾类）的毒害特别显著，但并非所有的鳞翅目昆虫都是害虫。美国的研究证明了一种 Bt 转基因玉米（Bt176）的花粉会毒害深得人爱的帝王蝶（Monarch butterfly）¹⁰，引起了对 Bt 转基因作物可能直接毒害非靶标物种的广泛关注。最近的研究还显示，长期接触 Bt 玉米花粉，就算是相对少量的花粉，也会对帝王蝶的幼虫产生不良影响¹¹。值得注意的是，直到 Bt 玉米已经商业化种植之后，这些对非靶标物种的威胁才被一一指出，而它们的长期影响更需要经过好几年的研究才能得知。

亚洲的家蚕（*Bombyx mori*）对 Bt 毒素 Cry1Aa 十分敏感，但对 Cry1Ab 和 Cry1Ac 的敏感度相对较弱^{12,13}。有研究显示，在养家蚕用的桑树中，凡是含有 Bt 毒素 Cry 1Aa 的桑树花粉，其毒素含量都已到达会对家蚕产生毒性的程度¹⁴。在水稻-桑树复种的产丝地区，一旦引入了产生 Cry1Aa 的转基因水稻品种，毒素在花粉中出现，就会对家蚕产生严重的影响。

而且，和接触少量 Bt 对帝王蝶幼虫造成的伤害一样，长期接触其它 Bt 毒素，如 Cry1Ab 和 Cry1Ac，也很可能对家蚕造成伤害。然而，目前都没有对此进行长期的研究。

Bt 转基因水稻会对野生生物产生不良影响，尤其是对蝶类和蛾类。

间接影响：

对 Bt 玉米的研究数据显示，因为捕食了摄入 Bt 的玉米螟虫（corn borer，一种吃玉米的害虫）的幼虫，草蛉（lacewing，一种益虫）的死亡率有所增加¹⁵。Bt 玉米样地中有益瓢虫的数量也少于非 Bt 玉米样地。瓢虫的食性广泛，包括蚜虫、花粉、欧洲玉米螟卵和其它害虫的卵¹⁶。其它捕食吃水稻的害虫的有益的非靶标物种也可能受到类似的影响。

至于 Bt 棉花，也已有证据显示其害虫和天敌的种群变化。中国的研究数据表明，Bt 作物的种植造成次级害虫种群的激增，如棉蚜、草盲蝽、白粉虱、红蜘蛛和棉蓟马¹⁷。研究同时还显示 Bt 棉田中有益寄生虫种群的剧减，如侧沟茧蜂（*Microplitis sp.*）（减 88.9%）和齿唇姬蜂（*Camponotus chloridae*）（减 79.2%）¹⁸。

转基因水稻产生的 Bt 毒素会经食物链向上级传递，影响到其它生物。Bt 转基因水稻也会对益虫产生影响。

Bt 转基因水稻对土壤健康的影响

最近的研究显示，Bt 毒素经由含 Cry1Ab 的 Bt 水稻的根部释放，并通过与土壤微粒相结合而存留于土壤中^{19,20}。但还不太清楚这些毒素的释放究竟是会帮助对害虫物种的控制，还是会伤害土壤中的非靶标生物。

最近中国的实验研究发现，在饱和水的土壤中引入 Bt 水稻的稻秆，会引起土壤中一些酶的活性和微生物群落的变化^{21,22}。虽然这一发现对土壤肥力的影响还未经过测试，但这些改变已被归因于加入 Bt 基因后造成的转基因水稻组成成分的改变。Bt 玉米的木质素产量也被发现有意料之外的增加，这就引发了它是否会影响到在土壤中降解的问题²³。

土壤中的生物对土壤的健康有着重要的影响，因此也会影响农业。土壤的食物网由数不胜数的物种组成，他们可能会受到 Bt 的影响——但是目前仅对极少种土壤类型和生态系统中的极少量物种进行过测试。

Bt 转基因水稻会表达出已确定对某些昆虫有毒性的蛋白，因此其有可能给土壤长期健康带来问题。

对可持续农业的影响

抗虫作物对环境的另一大威胁就是靶标害虫可能对 Bt 的作用产生耐受性。这是因为持续接触这些植物产生的 Bt 毒素会使含有对 Bt 免疫的基因的害虫更易存活。长此以往，这将会导致耐受性个体的增殖，以至于 Bt 对靶标害虫种群中的大部分个体不再有效²⁴。

如果耐受性一旦普及,那么转基因作物的抗虫性就会完全失去效用。因此几乎就不可避免新的甚至更毒的化学杀虫剂的施用。

Bt 喷剂本是可持续农业的有力工具,但不断增长的耐受性却会对它的使用造成严重的威胁。

造成污染的可能性

野生稻：

亚洲是水稻的起源中心,广布着能与栽培水稻 (*Oryza sativa*) 杂交 (授粉) 的野生近缘种。这些野生稻有的是杂草,虽然与其它作物相比,它们的杂交率较低,但仍被认为是显著的²⁵。长久以来,在栽培的转基因水稻与野生稻同时存在的情况下,它们之间的杂交都被认为是不可避免的。科学家们认为转基因作物 (如 Bt 作物) 的抗虫性是一种增强适应性的基因,因此它的频率很可能会不断增加,并在当地的种群中蔓延²⁶。Bt 性状的引入会提高野生稻的竞争力,从而使它们成为更难对付的杂草。这种 Bt 野生稻也会超过其它天然的野生种,很可能导致它们的灭绝。

虽然 *O.rufipigon* 并不存在于华中地区,也不是稻田中的问题杂草,但它确实存在于华南的广东、广西、海南和云南各省,并且现已濒危²⁷。因此,转基因水稻会对这个物种造成负面影响,也更加大了保护这些种群免受栽培水稻基因流影响的迫切性^{28,29}。

由于基因污染而造成的野生稻物种的灭绝对于自然多样性的保护造成了极大的威胁,它意味着基因资源的严重流失,也会危害到未来的育种和食品安全,因为育种完全要依靠基因资源的多样性而进行。

杂草稻：

尽管杂交率较低,基因流仍然一直无法避免,所以红稻还是一个问题^{30,31}。基因的转移增加了红稻对害虫攻击和疾病的耐受性,有可能进一步增加其竞争优势。

非转基因水稻：

尽管水稻在大多数情况下是自花授粉的,但是还是可以检测到 100 米范围内的花粉漂移,而且其易受风速和风向的影响³²。因此,与邻近非转基因水稻发生一定程度的交叉授粉几乎是不可避免的。

结论

- 1、Bt 转基因水稻的人类食品安全性还未为人知,必须对其致敏性进行彻底的研究。
- 2、Bt 转基因水稻会对野生生物产生不良影响,尤其是对蝶类和蛾类。
- 3、转基因水稻产生的 Bt 毒素会经食物链向上级传递,影响到其它生物。Bt 转基因水稻也会对益虫产生影响。
- 4、Bt 转基因水稻会表达出已确定对某些昆虫有毒性的蛋白,因此其有可能给土壤长期健康带来问题。
- 5、Bt 喷剂本是可持续农业的有力工具,但不断增长的耐受性却会对它的使用造成严重的威胁。
- 6、由于基因污染而造成的野生稻物种的灭绝对于自然多样性的保护造成了极大的威胁,也

意味着基因资源的严重流失。

参考文献

1. Tu, J., Zhang, G., Datta, K., Xu, C., He, Y. Zhang, O., Khush, G. and Datta, S.K. 2000. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin. *Nature Biotechnology* 18: 1101-1104.
2. <http://www.agbios.com/dbase.php?action=ShowProd&data=MON531%2F757%2F1076&format=LONG>
3. Rice Today, September 2002. Rice Facts. Essential food for the poor. <http://www.irri.org/publications/today/pdfs/1-2/facts1-2.pdf> <28th October 2004>
4. Ministry of Health and Welfare, Japan (1999) Guideline for weaning (revised edition) *Pediatrics International* 41 (1): 115 - doi: 10.1046/j.1442-200x.1999.01037.x
5. Wang, Z.H., Wang, Y., Cui, H.R., Xia, Y.W., Altosaar, I. & Shu, Q.Y. 2002. Toxicological evaluation of transgenic rice flour with a synthetic cry1Ab gene from *Bacillus thuringiensis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 738-744.
6. Moreno-Fierros, L. García, N. Gutiérrez, R. López-Revilla, R. Vázquez-Padrón, R.I. (2000). Intranasal, rectal and intraperitoneal immunization with protoxin Cry1Ac from *Bacillus thuringiensis* induces compartmentalized serum, intestinal, vaginal and pulmonary immune responses in Balb/c mice. *Microbes Infect* 2(8): 885-90; Vázquez-Padrón, R.I., Moreno-Fierros, L. Neri-Bazán, L. de la Riva, G.A & López-Revilla, R. (1999). *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac protoxin is a potent systemic and mucosal adjuvant. *Scand J Immunol* 49: 578-584; Vázquez-Padrón, R.I. Moreno-Fierros, L. Neri-Bazán, L. de la Riva, G.A & López-Revilla, R. (1999). Intragastric and intraperitoneal administration of Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* induces systemic and mucosal antibody responses in mice. *Life Sciences* 64(21): 1897-1912; Vázquez-Padrón, R. I., Moreno-Fierros, L. Neri-Bazán, L. Martínez-Gil, A.F., de la Riva, G.A. & López-Revilla, R.. (2000). Characterization of the mucosal and systemic immune response induced by Cry1Ac protein from *Bacillus thuringiensis* HD 73 in mice. *Braz J Med Biol Res* 33: 147-155; Vázquez-Padrón, R. I., González-Cabrera, J., García-Tovar, C. Neri-Bazán, L., López-Revilla, R., Hernández, M., Moreno-Fierros, L. & de la Riva, G.A. (2000). Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* sp. *kurstaki* HD73 binds to surface proteins in the mouse small intestine. *Biochem Biophys Res Comms* 271: 54-58.
7. FAO-WHO 2001. Evaluation of Allergenicity of Genetically Modified Foods. Report of the joint FAO/WHO expert consultation on allergenicity of foods derived from Biotechnology, 22-25 January 2001, pp1-26.
8. Hillbeck, A. 2001. Transgenic host plant resistance and non-target effects. In: *Genetically engineered organisms: assessing environmental and human health effects*. Letourneau, D.K. and B.E. Burrows [eds.] Boca Raton, FL: CRC Press. Hillbeck, A., M.S. Meier and A. Raps. 2000. Review on non-target organisms and *Bt* plants. Report prepared for Greenpeace International, Amsterdam, EcoStrat GmbH, Ecological Technology Assessment & Environmental Consulting, Zurich, Switzerland
9. Hillbeck, A. 2001. Transgenic host plant resistance and non-target effects. In: *Genetically engineered organisms: assessing environmental and human health effects*. Letourneau, D.K. and B.E. Burrows [eds.] Boca Raton, FL: CRC Press.
10. Losey J. E., Raynor, L. & Cater, M.E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214.

11. Dively, G.P., R. Rose, M.K. Sears, R.L. Hellmich, D.E. Stanley-Horn, D.D. Calvin, J.M. Russo and P.L. Anderson. 2004. Effects on monarch butterfly larvae (Lepidoptera: Danaidae) after continuous exposure to Cry1Ab expressing corn during anthesis. *Environmental Entomology* 33: 1116-1125.
12. Jenkins J.L. & Dean ,D.H. (2001) Binding specificity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Aa for purified, native *Bombyx mori* aminopeptidase N and cadherin-like receptors *BMC Biochemistry* 2001, 2:12. <http://www.biomedcentral.com/1471-2091/2/12> <29th October 2004>.
13. Wang Z-H Shu Q-Y, Cui H-R, Xu M-K, Xie X-B, Xia Y-W, (2002) The effect of *Bt* transgenic rice flour on the development of silkworm larvae and the sub-micro-structure of its midgut. *Scientia Agricultura Sinica* 35: 714-718.
14. Fan, L-J., Wu, Y-Y., Pang, H-Q., Wu, J-G., Shu, Q-J., Xu, M-K., Lu, J-F. 2003. *Bt* rice pollen distribution on mulberry leaves near rice fields. *Acta Ecologica Sinica* 23: 826-833.
15. Hillbeck, A., Baumgartner, M., Fried, P.M. & Bigler, F. 1998. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27: 480-487; Hillbeck, A., Moar, W.J., Pusztai-Carey, M., Filippini, A. & Bigler, F. (1998) Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1AB toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27: 1255-1263.
16. Wold, S.J., Burkness E.C., Hutchinson, W.D., Venette, R.C. 2001. In-field monitoring of beneficial insect populations in transgenic corn expressing a *Bacillus thuringiensis* toxin. *Journal of Entomological Science* 36: 177-187.
17. Cui, J. and J. Xia. 1998. Effects of transgenic *Bt* cotton (with early maturity) on population dynamics of main pests and their natural enemies. *Acta Gossypii Sinica* 10: 255-262.
18. Cui, J. and J. Xia. 1999. Effects of transgenic *Bt* cotton on the population dynamics of natural enemies. *Acta Gossypii Sinica* 11: 84-91
19. Saxena, D. Stewart, CN, Altosaar, I. Shu, Q. & Stozky, G. 2004. Larvicidal Cry proteins from *Bacillus thuringiensis* are released in root exudates of transgenic *B. thuringiensis* corn, potato and rice but not of *B. thuringiensis* canola, cotton and tobacco. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 383-387.
20. Sun, C. Wu, Z., Zhang, Y. & Zhang, L. 2003. Effect of transgenic *Bt* rice planting on soil enzyme activities. *Ying Yong Sgeng Tai Xue Bao* 14: 2261-2264.
21. Wu, W-X., Ye, Q-F, Hang, M, Duan, X-J, Jin, W-M. (2004) *Bt*-transgenic rice straw affects the culturable microbiota and dehydrogenase and phosphatase activities in a flooded paddy soil. *Soil Biol Biochem* 36: 289-295.
22. Wu, W-X., Ye, Q-F. & Min, H. (2004) Effect of straws from *Bt*-transgenic rice on selected biological activities in water-flooded soil. *Eur J Soil Biol* 40: 15-22.
23. Saxena, D. & Stozky, G. 2001. *Bt* corn has a higher lignin content than non-*Bt* corn, *American Journal of Botany*. 88:1704-1706.
24. See for example Andow, D.A. 2001. Resisting resistance to *Bt* corn. In: *Genetically engineered organisms: assessing environmental and human health effects*. Letourneau, D.K. and B.E. Burrows [eds.] Boca Raton, FL: CRC Press.
25. Lu, B.-R., Song, Z. & Chen, J. 2003. Can transgenic rice cause ecological risks through transgene escape? *Progress in Natural Science* 13: 17-24. Song, Z.P., Lu, B-R., Zhu, Y.G. & Chen, J.K. 2003. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions. *New Phytologist* 157: 657-665. Song, Z.P., Lu, B-R., Zhu, Y.G. & Chen, J.K. 2004. Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions. *Biodiversity and Conservation* 13: 579-90.
26. Stewart, Jr., C.N., J.N. All, P.L., Raymer, and S. Ramachandran. 1997. Increased fitness of transgenic

- insecticidal rapeseed under insect selection pressure. *Molecular Ecology* 6: 773-779. Vacher, C., A.E. Weis, D. Hermann, T. Kossler, C. Young, M.E. Hochberg 2004. Impact of ecological factors on the initial invasion of *Bt* transgenes into wild populations of birdseed rape (*Brassica rapa*) *Theoretical and Applied Genetics* 109: 806-814.
27. Gao, L. 2004. Population structure and conservation genetics of wild rice *Oryza rufipogon* (Poaceae): a region-wide perspective from microsatellite variation *Molecular Ecology* 13: 1009–1024.
28. Song, Z.P., Lu, B.-R., Zhu, Y.G. & Chen, J.K. 2003. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions. *New Phytologist* 157: 657-665
29. Song Z. P., Xu, X. Wang, B., Chen, J,K, & Lu, B-R. 2003. Genetic diversity in the northernmost *Oryza rufipogon* populations estimated by SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics* 107:1492-1499.
30. Messeguer, J. Marfa, V. Catala, MM, Guideroni, E. & Mele, E. 2004. A field study of pollen mediated gene flow from Mediterranean GM rice to conventional rice and the red rice weed. *Molecular Biology* 13: 103-112.
31. Zhang, N. Linscombe, S. & Oard, J. 2003. Out-crossing frequency and genetic analysis of hybrids between transgenic glufosinate herbicide-resistant rice and the weed, red rice. *Euphytica* 130: 35-45.
32. Song, Z.P Lu, B-R & Chen JK. 2004. Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions. *Biodiversity and Conservation* 13: 579–90.