

杨瑞芳,白建江,方 军,等. 转 *cry1Ac1* 基因抗虫水稻和非转基因亲本的主要营养成分比较[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):328-330.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.095

# 转 *cry1Ac1* 基因抗虫水稻和非转基因亲本的主要营养成分比较

杨瑞芳<sup>1</sup>,白建江<sup>1</sup>,方 军<sup>1</sup>,曾 威<sup>1</sup>,李刚<sup>2</sup>,朴钟泽<sup>1</sup>

(1. 上海市农业科学院作物育种栽培研究所,上海 201403; 2. 韩国农村振兴厅农业技术学院,京畿道水原市 441857)

**摘要:**秀水 134-Bt 是以秀水 134 为受体材料,通过根癌农杆菌介导的遗传转化方法导入抗虫基因 *cry1Ac1* 获得的转基因纯合品系。对转 *cry1Ac1* 抗虫基因水稻秀水 134-Bt 与其原亲本秀水 134 稻米的关键营养成分进行比较分析,包括对水分、脂肪、粗灰分、粗蛋白、氨基酸、脂肪酸、矿物质和维生素的测定分析等。结果表明,转基因水稻秀水 134-Bt 与非转基因亲本秀水 134 非常相似,在关键性营养成分上差异不明显。表明在水稻遗传转化操作过程中,T-DNA 插入并未明显改变原亲本的上述品质性状。

**关键词:**转基因水稻;抗虫;*cry1Ac1*;营养成分

**中图分类号:** S511.034 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0328-03

水稻是人类重要的粮食作物之一,我国是世界上最大的稻米生产国,水稻产量占据了世界稻米总产的 1/3。保证水稻稳产、高产不仅是人民生活的需要,也是确保社会和政治稳定的需求。虫害是造成水稻减产的主要因素之一,每年因此造成的产量损失为 10% 以上<sup>[1]</sup>。转基因生物的产业化自 20 世纪 80 年代以来发展迅猛,转基因生物技术已经被广泛地应用到农业、化工、医药、环境保护、食品及能源等领域<sup>[2]</sup>。发展转基因作物可以降低农业生产成本、提高农业生产效率。目前,转基因生物的产业化规模逐年递增,所涉及的作物种类甚多,生产上大面积应用的产品有抗虫玉米、抗虫棉、抗虫大豆、保鲜西红柿及抗虫杨树等<sup>[3]</sup>。在 *Bt* 抗虫转基因水稻研究中,已经有很多研究人员陆续将修饰的 *Bt* 基因导入水稻,并进行了毒蛋白表达和室内抗虫性鉴定,获得了优良的抗虫水稻品种<sup>[4-6]</sup>。

安全是生物技术的核心问题,转基因产品是否存在营养结构与化学成分的变化已经成为食品安全评价的热点,衡量转基因产品食用安全性的重要指标之一就是转基因食品关键营养成分与亲本之间是否存在差异<sup>[7]</sup>。目前,世界上普遍公认的转基因食品安全分析原则是经济发展合作组织(简称 OECD)1993 年提出的“实质等同性”原则,即指出如果某个新食品或食品成分与现有的食品或食品成分大体相同,那么它们是同等安全的<sup>[8-9]</sup>。营养成分包括脂肪、蛋白质、碳水化

合物、矿物质、灰分、氨基酸、脂肪酸和维生素等。Park 等对转抗虫基因水稻与常规对照种子之间的关键营养成分进行了比较研究,结果并未发现两者存在明显差异<sup>[10]</sup>。朱亚熙等对转草甘膦抗性基因玉米与对照亲本营养成分比较分析,表明基因的插入并没有干扰玉米的营养平衡,大多数营养成分的测定结果都在正常范围内<sup>[11]</sup>。朱元招等对抗草甘膦大豆豆粕中的普通营养成分、氨基酸、脂肪酸和微量元素指标进行分析发现,转基因品种与对照品种相比基本一致,具有营养学的实质等同性<sup>[12]</sup>。沈希宏等对转抗除草剂基因水稻与其亲本的稻米理化特性及主要营养成分比较分析,表明 T-DNA 的插入并未显著改变原有亲本的理化特性和营养品质性状<sup>[13]</sup>。

本研究对象秀水 134-Bt 是上海市农业科学院培育的一个以粳稻秀水 134 为受体材料,通过根癌农杆菌介导的遗传转化方法导入抗虫基因 *cry1Ac1* 培育的转抗虫基因品系<sup>[14]</sup>,研究该转基因水稻的食用安全性,为我国转基因产业的安全、可持续性发展提供保障。本研究针对转基因水稻秀水 134-Bt 及其受体亲本秀水 134 进行了一系列营养学及食用安全性评价,营养成分主要包括水分、脂肪、粗灰分、粗蛋白、氨基酸、脂肪酸、矿物质和维生素的测定分析等。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试水稻品种为粳稻品种秀水 134(用作非转抗虫基因水稻对照)以及用它作为受体材料育成的 1 个抗虫转基因纯合品系秀水 134-Bt。秀水 134-Bt 转基因品系是用农杆菌介导的遗传转化方法获得的,具体转化方法参考杨瑞芳等<sup>[14]</sup>。2014 年,上海农业科学院白鹤转基因基地种植秀水 134 和秀水 134-Bt 种子,设 3 次重复。成熟后,收获脱粒,晒干水分含量为 11%~14%,脱糙米后把糙米用试验用旋风式粉碎机磨成细粉,分析各营养成分含量。

### 1.2 试验方法

本试验是在上海市农业科学院农产品质量标准与检测技

收稿日期:2015-08-11

基金项目:上海市基础研究重点项目(编号:13JC1408600);上海市自然科学基金(编号:13ZR1460800);2015 年度上海市农业科学院青年人才成长计划[编号:沪农青字(2015)第 1-1 号];中韩国际合作项目(编号:PJ01125703)。

作者简介:杨瑞芳(1982—),女,河南安阳人,博士,助理研究员,主要从事水稻遗传育种研究。Tel:(021)62204273;E-mail:yangrui-fang1982@163.com。

通信作者:朴钟泽,博士,研究员,研究方向为水稻遗传育种。Tel:(021)62204273;E-mail:zpziao@163.com。

术研究所和国家轻工业食品质量监督检测上海站进行。

1.2.1 常规营养成分测定 水分测定采用直接干燥法(参照 GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》),粗蛋白质测定采用微量凯氏定氮法(参照 GB 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》),粗纤维的测定参照 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》规定进行,粗灰分测定采用马福炉灰化法(参照 GB 5009.4—2010《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》),粗脂肪测定采用索氏提取法(参照食品安全国家标准 GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》),碳水化合物测定参照食品安全国家标准 GB 13432—2004《预包装特殊膳食食品标签通则》方法测定。

1.2.2 脂肪酸的测定 脂肪酸的测定采用气相色谱法,参照食品安全国家标准 GB/T 17377—2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯的气相色谱分析》和 GB/T 17376—2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯制备》。

1.2.3 氨基酸含量测定 参照食品安全国家标准 GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》规定,经氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量。

1.2.4 矿物质元素测定 矿物质元素的测定分别参照食品安全国家标准进行。铜含量测定参照 GB/T 5009.13—2003《食品中铜的测定》方法、铁含量测定参照 GB/T 5009.90—2003《食品中铁、镁、锰的测定》方法、食品中锌的测定含量测

定参照 GB/T 5009.14—2003《食品中锌的测定》方法、钙含量测定参照 GB/T 5009.92—2003《食品中钙的测定》方法、钾含量测定参照 GB/T 5009.91—2003《食品中钾、钠的测定》方法、镁含量测定参照 GB/T 5009.90—2003《食品中铁、镁、锰的测定》方法、磷含量测定参照 GB/T 5009.87—2003《食品中磷的测定》方法、钠含量测定参照 GB/T 5009.91—2003《食品中钾钠的测定》方法。

1.2.5 维生素的测定 维生素含量的测定参照中华人民共和国国家标准进行。维生素 B<sub>1</sub> 含量测定参照 GB/T 5413.11—2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中维生素 B<sub>1</sub> 的测定》、维生素 B<sub>2</sub> 含量测定参照 GB/T 5413.12—2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中维生素 B<sub>2</sub> 的测定》、α-维生素 E 含量测定参照 GB/T 5413.9—2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中维生素 A、D、E 的测定》。

2 结果与分析

2.1 主要营养素含量

由表 1 可知,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 的水分、粗蛋白和粗脂肪含量均略低于对照亲本秀水 134,总灰分和碳水化合物含量略高于对照亲本秀水 134,两者之间并无明显差异。秀水 134 转入抗虫基因 *T-DNA* 并不会明显影响稻米的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、碳水化合物含量。

表 1 转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 与非转基对照水稻秀水 134 的主要营养含量 %

水稻品种	水分	粗蛋白含量	粗脂肪含量	粗纤维含量	总灰分	碳水化合物含量
秀水 134-Bt	11.07±0.11	8.08±0.05	5.01±0.07	1.30±0.02	1.29±0.04	65.9±0.02
秀水 134	11.16±0.02	8.49±0.13	5.30±0.00	1.20±0.06	1.24±0.02	63.5±0.01

2.2 脂肪酸含量

由表 2 可知,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 的棕榈酸(C16:0)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)含量略低于对照秀水 134,而花生酸(C20:0)略高于对照亲本,但均无明显差

异。其他脂肪酸豆蔻酸(C14:0)、硬脂酸(C18:0)、花生一烯酸(C20:1)、亚麻酸(C18:3)均无差异。以上说明转抗虫基因水稻中 *T-DNA* 的插入未影响亲本水稻的脂肪酸含量。

表 2 转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 与非转基因水稻秀水 134 脂肪酸含量 %

水稻品种	豆蔻酸 (C14:0)含量	棕榈酸 (C16:0)含量	硬脂酸 (C18:0)含量	花生酸 (C20:0)含量	花生一烯酸 (C20:1)含量	油酸 (C18:1)含量	亚油酸 (C18:2)含量	亚麻酸 (C18:3)含量
秀水 134-Bt	0.01±0.00	0.80±0.01	0.07±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00	1.70±0.00	2.00±0.00	0.10±0.00
秀水 134	0.01±0.00	0.90±0.00	0.07±0.01	0.03±0.00	0.02±0.00	1.90±0.00	2.02±0.02	0.10±0.00

2.3 氨基酸含量

由表 3 可知,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 的天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸都要高于非转基因对照亲本秀水 134,而酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸略低于对照亲本,其他氨基酸没有差异,单因素方差分析表明这些差异均不显著。由此可见,转抗虫基因水稻并未改变原有亲本的氨基酸含量。

2.4 矿物质含量

矿物质是人体必需的元素,是构成人体组织和维持正常生理功能必需的各种元素的总称,且矿物质无法自身产生、合成。稻米中所含的许多矿物质都是人体重要的营养物质,稻米矿物质含量也是衡量营养品质的重要指标之一。由表 4 可知,Bt 转基因水稻与原亲本秀水 134 相比,秀水 134-Bt 的铜、铁、钾、镁、钠含量略高于对照亲本,钙、磷含量略低于对照

亲本。各种矿物质含量相差不明显,说明 Bt 转基因抗虫水稻并未改变原亲本中的矿物质含量。

2.5 维生素含量

由表 5 可知,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 与其对照亲本相比,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 的维生素 B<sub>1</sub> 含量略低于对照亲本秀水 134,维生素 B<sub>2</sub> 含量都低于 0.05,转抗虫基因水稻秀水 134-Bt 的 α-维生素 E 含量略高于对照亲本秀水 134。差异都属于自然变异,这充分说明了 Bt 转基因抗虫水稻并未改变原亲本中的维生素含量。

3 讨论

转基因食品作为一种新型食品,其食用安全性引起了各国政府的高度重视。目前,国际上对转基因食品进行安全性评价时,关键性营养成分与亲本之间的差异是衡量转基因产

表 3 转抗虫基因水稻秀水 134 - Bt 与非转基因  
水稻秀水 134 氨基酸含量

氨基酸	含量(%)	
	秀水 134 - Bt	秀水 134
天冬氨酸	0.69 ± 0.00	0.59 ± 0.00
苏氨酸	0.33 ± 0.00	0.31 ± 0.00
丝氨酸	0.42 ± 0.00	0.39 ± 0.00
谷氨酸	1.35 ± 0.00	1.21 ± 0.00
甘氨酸	0.34 ± 0.00	0.32 ± 0.00
丙氨酸	0.43 ± 0.00	0.40 ± 0.00
胱氨酸	0.12 ± 0.00	0.12 ± 0.00
缬氨酸	0.40 ± 0.00	0.38 ± 0.00
蛋氨酸	0.07 ± 0.00	0.07 ± 0.00
异亮氨酸	0.26 ± 0.00	0.24 ± 0.00
亮氨酸	0.60 ± 0.00	0.56 ± 0.00
酪氨酸	0.36 ± 0.00	0.42 ± 0.00
苯丙氨酸	0.52 ± 0.00	0.68 ± 0.00
赖氨酸	0.37 ± 0.00	0.39 ± 0.00
组氨酸	0.34 ± 0.00	0.35 ± 0.00
精氨酸	0.66 ± 0.00	0.64 ± 0.00
脯氨酸	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

表 4 转抗虫基因水稻秀水 134 - Bt 与非转基因水稻秀水 134 矿物质含量

水稻品种	铜含量	铁含量	锌含量	钙含量	钾含量	镁含量	磷含量	钠含量
秀水 134 - Bt	0.40 ± 0.00	2.04 ± 0.07	2.00 ± 0.07	12.20 ± 0.00	272.00 ± 0.00	126.00 ± 0.06	290.00 ± 0.00	1.74 ± 0.57
秀水 134	0.20 ± 0.00	1.32 ± 0.05	2.00 ± 0.05	12.8 ± 0.07	264 ± 1.41	120 ± 1.41	300 ± 0.00	1.64 ± 0.61

表 5 转抗虫基因水稻秀水你 134 - Bt 与非转基因

水稻品种	水稻秀水 134 维生素含量		
	维生素 B <sub>1</sub> 含量	维生素 B <sub>2</sub> 含量	α - 维生素 E 含量
秀水 134 - Bt	0.176 ± 0.00	<0.05	1.11 ± 0.00
秀水 134	0.182 ± 0.00	<0.05	1.02 ± 0.00

化方法导入抗虫基因 *cryIacI* 获得的转基因纯合品系,前期田间试验结果表明其对稻纵卷叶螟具有很好的抗性,除了株高与原品种有所差异外,千粒质量、产量等主要农艺性状均没有显著差异<sup>[14]</sup>。本研究主要针对转基因大米和亲本大米的营养成分进行了分析,结果可以看出, *Bt* 转基因水稻中稻米营养成分并未发生多大的变化,说明基因的插入并没有干扰水稻的营养平衡,保持与原有亲本的稻米特征,本试验提供的数据具有较为可靠的参考和应用价值。

参考文献:

[1]陈 浩,林拥军,张启发. 转基因水稻研究的回顾与展望[J]. 科学通报,2009,54(18):2699 - 2717.

[2]盛 耀,许文涛,罗云波. 转基因生物产业化情况[J]. 农业生物技术学报,2013,21(12):1479 - 1487.

[3]王继磊,刘迪秋,丁元明,等. *Bt* 转基因抗虫植物研究进展[J]. 生物学杂志,2010,27(4):75 - 78.

[4]Fujimoto H, Itoh K, Yamamoto M, et al. Insect resistant rice generated by introduction of a modified delta - endotoxin gene of *Bacillus thuringiensis*[J]. Biotechnology,1993,11(10):1151 - 1155.

[5]Tu J, Zhang G, Datta K, et al. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing bacillus thuringiensis delta - endo-

品食用安全性的重要指标之一。1993 年国际经合组织(OEDC)提出,用“实质等同性”原则来评价转基因食品的安全性,这一原则得到了普遍认可。现在有 67 个国家把这一原则作为转基因食品安全评价的基本原则。所谓“实质等同性”原则,主要是指通过对转基因作物的农艺性状和食品中各主要营养成分、营养拮抗物质、毒性物质及过敏性物质等成分的种类和数量进行分析,并与相应的传统食品进行比较,若两者之间没有明显差异,则认为该转基因食品与传统食品在食用安全性方面具有实质等同性,不存在安全性问题。

进行实质等同性分析的关键之一是选取与转基因品种具有可比性的对照品种。2009 年 12 月,华中农业大学研发的抗虫转基因水稻华恢 1 号和 Bt 汕优 63 首次获得农业部颁发的转基因安全证书,对华恢 1 号转基因水稻的遗传稳定性、农艺性状、食品成分分析和潜在毒性或过敏性进行了广泛的评价,未发现非预期的效应。除了引入了抗虫性状外,试验结果表明,华恢 1 号转基因水稻其他性状与创痛的对照水稻无实质性差异。本研究所用的材料转基因抗虫水稻秀水 134 - Bt,是以秀水 134 为受体材料,通过根癌农杆菌介导的遗传转

toxin[J]. Nature Biotechnology,2000,18(10):1101 - 1104.

[6]Ye G Y, Yao H W, Shu Q Y, et al. High levels of stable resistance in transgenic rice with a *cryIAb* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* ( Guenee ) under field conditions[J]. Crop Protection,2003,22(1):171 - 178.

[7]WHO. Application of the principles of substantial equivalence to the safety and evaluatin of foods and food components from plants decived by modern biotechnology[ R]. Rome: WHO Food Safety UNIT,1995.

[8]Kuiper H A, Kleter G A, Noteborn H P J M, et al. Assessment of the food safety issues related to genetically modified foods [J]. Plant Journal,2001,27(6):503 - 528.

[9]Novak W K, Haslberger A G. Substantial equivalence of antinutrients and inherent plant toxins in genetically modified novel foods [J]. Food and Chemical Toxicology,2000,38(6):473 - 483.

[10]Park S Y, Lee S M, Lee J H, et al. Compositional comparative analysis between insect - resistant rice ( *Oryza sativa* L. ) with a synthetic *cryIac* gene and its non - transgenic counterpart[J]. Plant Biotechnology Reports,2012,6(1):29 - 37.

[11]朱亚熙,贺晓云,马丽艳,等. 转 *G2 - aroA* 基因耐草甘膦玉米和非转基因玉米营养成分的比较分析[J]. 中国食物与营养,2012,18(9):65 - 69.

[12]朱元招,王凤来,尹靖东. 抗草甘膦大豆及豆粕营养成分和抗营养因子研究[J]. 营养学报,2010,32(2):178 - 182.

[13]沈希宏,崔海瑞,张慧廉,等. 转抗除草剂基因水稻与亲本的稻米理化特性及主要营养成分比较[J]. 中国水稻科学,2004,18(2):181 - 183.

[14]杨瑞芳,白建江,朴钟泽,等. 转 *cryIacI* 基因抗虫水稻的培育[J]. 分子植物育种,2014,12(6):1103 - 1111.