

## 的玉米后代性状分析\*

(天津大学农业与生物工程学院 天津 300072)

中图分类号 Q786

收稿日期:2012-07-30      修回日期:2012-10-11

\*\*通讯作者,电子信箱:jijingtjdx@163.com

```

graph TD
    A[异戊烯二磷酸] --> B[二甲基丙烯基二磷酸]
    A --> C[牻牛儿基牻牛儿基二磷酸]
    C --> D[八氢番茄红素]
    D --> E[六氢番茄红素]
    E --> F[ζ-胡萝卜素]
    F --> G[链孢红素]
    G --> H[番茄红素]
    H --> I[番茄红素β-环化酶 LYCB]
    H --> J[δ-胡萝卜素]
    H --> K[β-胡萝卜素]
    I --> L[α-胡萝卜素]
    J --> L
    L --> M[叶黄素]
    K --> N[β-隐黄质]
    N --> O[玉米黄质]
    O --> P[花药黄质]
    P --> Q[紫黄质]
    Q --> R[新黄质]

```

类胡萝卜素是指具有黄色、橙色和红色的含有 40 个碳的碳氢化合物(胡萝卜素)和其氧化衍生物(叶黄

素)两大类色素的总称。

玉米中有时会出现白化苗。白化苗由于不能进行光合作用,待种子中贮存的养分耗尽就会死亡,可见光合作用与细胞中的色素有关。在植物的绿色组织中,类胡萝卜素镶嵌于叶绿体中类囊体的薄膜上,是光合作用的辅助色素—捕光复合体的重要组成成分,为光合作用捕获光能。在光反应阶段叶绿体中类胡萝卜素主要捕获位于蓝紫光区的光能,并将吸收的能量传递给处于特殊状态的叶绿素 $a^{[2]}$ ,启动光化学反应。

类胡萝卜素在高温胁迫、强光刺激、紫外线辐射下对植物具有重要的保护作用。强光照胁迫会导致植物体内产生过多的活性氧,一旦这些活性氧超出了植物自我保护的能力,就会对植物细胞膜造成不同程度的伤害,植物光合能力下降,植株矮小,有机物合成减少,生物量下降,植物生长受到阻滞。类胡萝卜素类色素在强光下保护细胞免遭活性氧损伤中起重要作用。一方面能通过紫黄质循环以非辐射的方式消耗光系统II的过剩能量,保护反应中心、叶绿素和天线色素蛋白复合物等免受破坏<sup>[3]</sup>。紫黄质循环是指玉米黄质和紫黄质两种组分在不同光照强度和pH值条件下在玉米黄质环化酶和紫黄质去氧化酶的催化下相互转化。光能过剩时,紫黄质在紫黄质去氧化酶的作用下,经花药黄质转化成玉米黄质,这是紫黄质的脱环化作用。玉米黄质在植物紫黄质循环耗散光能过程中起关键作用,可以直接猝灭激发态叶绿素或改变类囊体膜的流动性及促进光系统II中的捕光复合体II聚集来增加非辐射能量的耗散;当光能恢复正常时,玉米黄质在玉米黄质环化酶的催化作用下经花药黄质形成紫黄质,玉米黄质减少而紫黄质增加。因此,玉米黄质是光照条件下紫黄质双去氧化作用的产物,它是紫黄质循环发挥光防护作用的关键物质<sup>[4,5]</sup>。另一方面在光下形成的激发三线态叶绿素分子,相对寿命较长,不易回复到基态,但当与三线态分子氧(基态)相遇,则三线态叶绿素分子很容易回到基态,而 $O_2$ 被激发成单线态,它是一种自由基,对生物毒性很大。 $\beta$ -胡萝卜素及其衍生物玉米黄质、 $\beta$ -隐黄质、花药黄质、新黄质等是良好的抗氧化剂,它们能够在三线态叶绿素与 $O_2$ 反应之前就使三线态叶绿素淬灭,同时还能淬灭单线态 $O_2$ 本身<sup>[6]</sup>,除掉植物因高光照胁迫而产生的一些自由基,从而对细胞膜起到一定的保护作用,使植物受到一定的保护。

类胡萝卜素是植物中有色体的重要组成成分,赋

予了植物花朵果实鲜艳的色彩,不同器官和组织中类胡萝卜素含量的不同是植物组织表现出不同颜色的重要原因,具有重要的农艺和营养价值。

类胡萝卜素合成途径的关键酶基因在基因工程上的应用:

八氢番茄红素合酶(PSY)催化两分子牻牛儿基牻牛儿基二磷酸缩合生成类胡萝卜素生物合成途径中的第一个化合物—八氢番茄红素。PSY是类胡萝卜素生物合成途径中公认的限速酶,其编码基因成为应用基因工程技术改变植物中类胡萝卜素含量的首选目的基因。将来自脐橙的八氢番茄红素合酶基因导入香港金橘,其八氢番茄红素含量是野生型的2.5倍,达 $71\mu\text{g/g}$  FW(Fresh weight),且 $\beta$ -胡萝卜素和玉米黄质也有较高水平的积累,使金橘颜色由黄色向橙色转变<sup>[7]</sup>。2002年,季静等<sup>[8]</sup>将黄花龙胆草的*ggps*、*psy*、*zds*、*lycb*、*lyce*等基因在烟草中表达,结果发现*psy*和*lycb*能够明显影响类胡萝卜素的合成。

番茄红素的环化反应是高等植物体内类胡萝卜素生物合成途径的一个非常重要的分支点。八氢番茄红素在番茄红素 $\beta$ -环化酶(LYCB)催化作用下,经两次环化生成两个两端对称的环,从而生成 $\beta$ -胡萝卜素。Rosati等<sup>[9]</sup>将拟南芥的LYCB基因转化番茄,该基因的特异性过量表达导致番茄果实中 $\beta$ -胡萝卜素含量增加7倍。Dharmapuri等<sup>[10]</sup>在番茄中过量表达果实特异性启动子驱动的拟南芥LYCB基因,检测到转基因植株中 $\beta$ -胡萝卜素含量增加12倍。2003年,梁燕等<sup>[11]</sup>将胡萝卜的*lycb*反义RNA转入烟草,结果发现转基因烟草的后代叶片中番茄红素和胡萝卜素的含量发生变化。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本实验所用玉米自交系来自天津市科润津丰种业有限公司提供的天塔五号自交系品种。

两种转基因自交系分别为本实验室人员以天塔五号自交系为转基因材料,通过农杆菌介导的植物转基因方法经过筛选成功得到的转来自枸杞的*psy*和*lycb*基因玉米的T1代植株。

### 1.2 方法

实验于2010年在天津大学科技示范园内进行,春季播种,种植导入*psy*和*lycb*基因及非转基因的材料各4行,行长5米,行距0.5米,株距0.5米。花期所有植株均套袋自花授粉。

## 2 测定项目

### 2.1 玉米叶片光合速率

在植株抽穗期分别测定植株穗位功能叶的净光合速率,每次各个处理参数的测定均为三个重复。

采用美国产 LI-6400 便携式光合测定仪于晴天 10 时、12 时、14 时分别测定非转基因玉米、转 *psy* 及 *lycb* 基因玉米的净光合速率。

### 2.2 种子颜色的比较

植株成熟收获后,分别取非转基因玉米、转 *psy* 及 *lycb* 基因玉米的种子,比较其颜色和大小。

### 2.3 玉米叶片中类胡萝卜素含量的测定

将干燥后的玉米叶片粉末 50mg 倒入 50ml 离心管中,用量筒量取 20ml 的甲醇加入离心管中充分混匀;量取 4ml 60% KOH 加入上述离心管中,混合均匀后放入 60℃ 水浴锅中,静置 20 min。冷却至室温后,量取 15ml 乙醚、石油醚等比例混合液与样品混合,倒入分液漏斗中萃取,收集上层有机相至带有刻度的试管中,记录样品名称及所收集的体积。用紫外分光光度计测样品在波长为 450 nm 处的吸光度值( $OD_{450}$ ),记录样品的吸光值,按下面的公式计算样品中总类胡萝卜素的含量:

$$X(\mu\text{g/g}) = (A \times V \times 1 \times 10^6) / (\varepsilon \times 100 \times W)$$

公式中各符号的意义:  $X$  为总类胡萝卜素含量( $\mu\text{g}$ );  $A$  为样品在波长 450 nm 处测定的吸光值  $OD_{450}$ ;  $V$  为各个样品收集到的有机相体积(ml);  $\varepsilon$  为类胡萝卜素分子平均消光系数 2100,  $W$  为玉米叶片的鲜重(g)。

由于不同的类胡萝卜素在色谱柱上洗脱时间不同,通过高效液相色谱法(HPLC)能够将各类胡萝卜素分离。由于各类胡萝卜素在 450 nm 处有最大吸光值,通过二极管阵列检测根据其吸光值大小可以确定其在总类胡萝卜素中含量。

### 2.4 植株性状调查

(1)株高:在乳熟期,从样品中随机抽样 8~10 株,测量植株主茎自地面至雄穗顶部的高度。

(2)穗位高:在乳熟期,从样品中随机抽样 8~10 株,测量植株主茎自地面至上位有效雌穗(正常成熟结实 10 粒以上的果穗)着生节的高度。

(3)叶长:在乳熟期,从样品中随机抽样 8~10 株,取距离雌穗最近的一片叶,测叶鞘以上至叶片顶端部分的长度。

(4)叶宽:在乳熟期,从样品中随机抽样 8~10 株,取距离雌穗最近的一片叶,测叶片中部的宽度。

### 2.5 玉米产量相关指标的测定

(1)穗长:雌穗基端至顶端的长度。

(2)穗粗:雌穗中部的直径长度。

(3)穗行数:雌穗每穗一周的籽粒行数。

(4)行粒数:雌穗每行籽粒的粒数,每穗取平均值。

(5)百粒重:随机取样测定的 100 个完整籽粒的重量(籽粒含水量按 13% 计)。

### 2.6 植株生物量的测定

玉米收获后,分别采集非转基因植株、转 *psy* 基因植株、转 *lycb* 基因植株的地上茎叶部分,在 105℃ 下杀青 30min 后 70℃ 下烘干,称其干物质重。

数据处理采用 SPSS 软件进行数据方差分析和多重比较。

## 3 结果与分析

### 3.1 玉米叶片光合速率

光合速率的强度决定了光合产物积累的速率。由于夏玉米是高光效的  $C_4$  作物,不会出现光合午休现象,夏玉米光合速率的峰值出现在光强最强的中午<sup>[12]</sup>。

上午 10 时转 *psy*、*lycb* 基因植株的光合速率虽与非转基因植株的光合速率无统计学的显著性差异,却存在普遍偏高现象,这是由于类胡萝卜素是光合作用的辅助色素—捕光复合体的重要组成成分,能为光合作用捕获光能,提高光合效率。

统计学分析表明,正午 12 时转 *psy*、*lycb* 基因植株净光合速率显著高于非转基因植株。这是由于类胡萝卜素在高温胁迫、强光刺激下对植物具有重要的保护作用。一方面  $\beta$ -胡萝卜素及其衍生物玉米黄质、 $\beta$ -隐黄质、花药黄质、新黄质等是良好的抗氧化剂,能除掉植物因高光照胁迫而产生的一些自由基,从而对细胞膜起到一定的保护作用,使植物受到一定的保护。另一方面,能通过紫黄质循环以非辐射的方式消耗光系统 II 的过剩能量,保护反应中心、叶绿素和天线色素蛋白复合物等免受破坏;转 *lycb* 基因植株光合速率高于转 *psy* 基因植株的光合速率,因为将 *lycb* 基因导入玉米植株能使番茄红素  $\beta$ -环化酶的表达量增强,玉米黄质的含量增加,紫黄质循环池放大倍数多(表 1、图 1)。

### 3.2 种子颜色的比较

与非转基因植株相比,转 *psy*、*lycb* 植株种子大而红。由于转 *psy* 植株总类胡萝卜素含量较转 *lycb* 植株多,所以其种子颜色更深呈橘红色且有光泽(图 2)。

表 1 玉米叶片光合速率  
Table 1 Photosynthetic rate of maize

植株类型 \ 时间	10 时 (μmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	12 时 (μmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	14 时 (μmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
非转基因植株	17.20 ± 1.55	24.97 ± 1.65b	16.53 ± 2.21b
转 <i>psy</i> 基因植株	21.30 ± 2.23	28.63 ± 2.22a	19.93 ± 1.00ab
转 <i>lycb</i> 基因植株	20.63 ± 1.27	31.20 ± 1.83a	20.93 ± 1.78a

*P* < 0.05

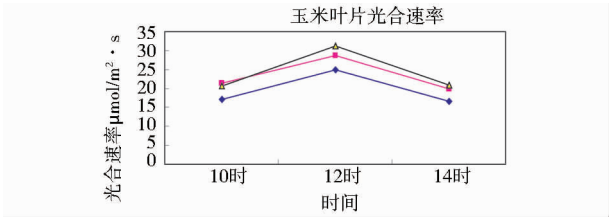


图 1 玉米叶片光合速率

—●—: 非转基因植株; —■—: 转 *psy* 基因植株; —▲—: 转 *lycb* 基因植株

Fig.1 Photosynthetic rate of maize



图 2 种子颜色的比较

Fig.2 Comparison of the seed colour

表 2 玉米叶片中类胡萝卜素含量  
Table 2 Carotenoids content of maize

植株类型	总类胡萝卜素含量 (μg/g)	β-胡萝卜素含量 (μg/g)	玉米黄质含量 (μg/g)
非转基因植株	140.38 ± 5.54b	35.55 ± 3.47c	25.51 ± 3.38b
转 <i>psy</i> 基因植株	205.68 ± 7.36a	64.67 ± 1.32a	28.93 ± 3.91b
转 <i>lycb</i> 基因植株	192.76 ± 7.91a	56.04 ± 2.35b	38.91 ± 3.25a

*P* < 0.05

3.4 植株性状调查

转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株与非转基因植株相比在株高,叶片数,叶长,穗位高方面经统计学分析无显著性差异,但穗位高有下降趋势。

穗位/株高:保证一定株高的前提下,通过降低植株重心,既能增强抗倒伏能力又可提高自交系自身的生产能力。经测定转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株穗位高、株高之比与非转基因植株相比有减小趋势,统计学分

3.3 玉米叶片中类胡萝卜素含量的测定

转基因植株与非转基因植株相比类胡萝卜素含量明显提高,转 *psy* 基因、*lycb* 基因植株比非转基因植株总类胡萝卜素含量分别提高 46.52% 和 37.31%。可见 *psy*、*lycb* 基因是类胡萝卜素生物合成途径中关键的限速基因,增加其编码的酶表达量能达到提高类胡萝卜素含量的目的(表 2)。

HPLC 结果表明与非转基因植株相比转基因植株 β-胡萝卜素、玉米黄质含量均有显著性提高。但两者的提高量却明显不同,转 *psy* 基因植株 β-胡萝卜素的提高量是转 *lycb* 基因植株的 1.42 倍,而转 *lycb* 基因植株玉米黄质的提高量是转 *psy* 基因植株的 3.9 倍。这种结果可能是由于 *psy* 基因为类胡萝卜素代谢途径的上游基因,八氢番茄红素合酶的过量表达能促进 β-胡萝卜素的大量合成;番茄红素 β-环化酶为类胡萝卜素分支途径的酶,能促进番茄红素向 β-胡萝卜素转化,随之引起 β-胡萝卜素下游代谢产物的增加(表 2)。

析表明:转 *lycb* 基因的植株穗位/株高与非转基因植株穗位/株高相差不大,转 *psy* 基因的植株穗位/株高与转 *lycb* 基因的植株相差不大,转 *psy* 基因的植株穗位/株高与非转基因植株穗位/株高有显著性差异。

叶宽方面,转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株比非转基因植株有增宽趋势。叶变宽使叶面积明显增加,叶绿体含量增加,光合作用增强,光合产物积累增多(表 3)。

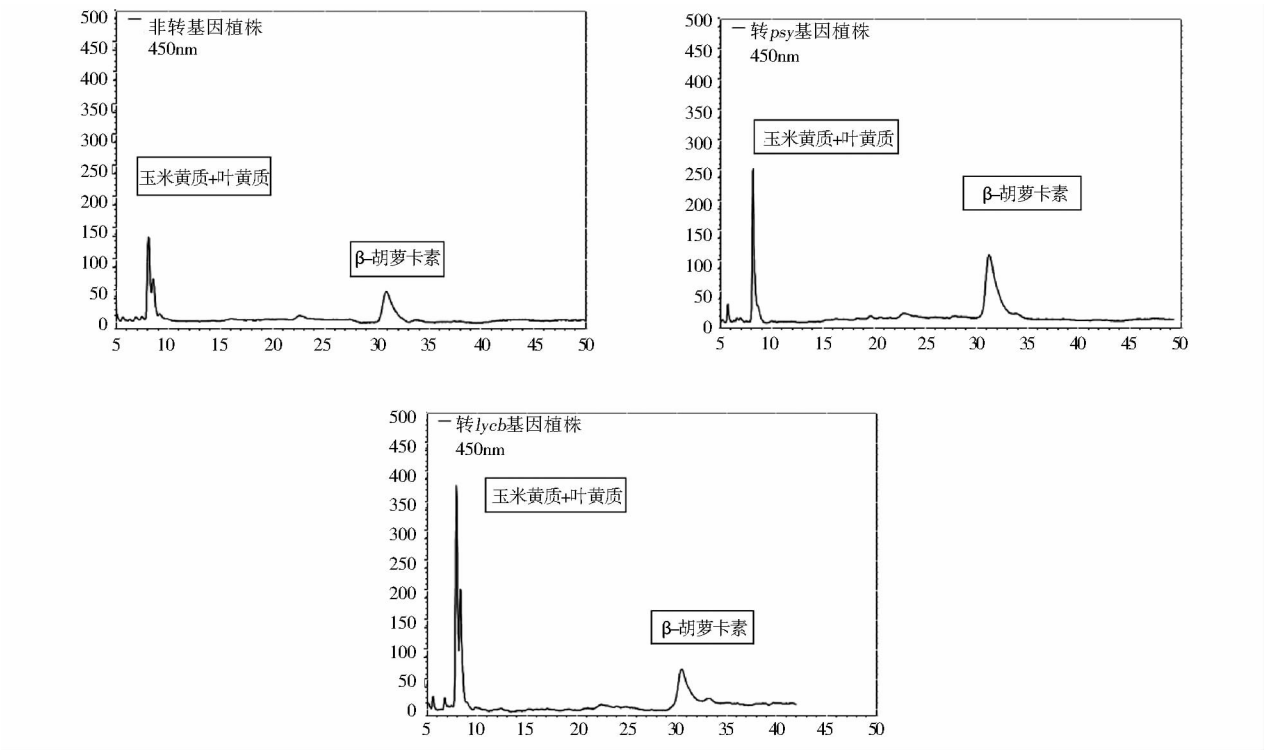


图3 非转基因,转 *psy* 基因,转 *lycb* 基因植株 HPLC 图谱  
Fig.3 HPLC graph of plants for *Lycb* gene and *Psy* gene

表3 植株性状调查

Table 3 Investigation of plant traits

植株类型	株高 (cm)	穗位高 (cm)	穗位高/株高	叶片数	叶长 (cm)	叶宽 (cm)
非转基因植株	217.60 ± 6.07	82.20 ± 5.45	0.38 ± 0.24a	10.30 ± 0.90	49.98 ± 2.63	7.52 ± 0.56b
转 <i>psy</i> 基因植株	222.60 ± 8.26	74.00 ± 4.36	0.33 ± 0.23b	10.20 ± 1.35	50.64 ± 4.05	10.12 ± 0.73a
转 <i>lycb</i> 基因植株	218.80 ± 10.55	75.80 ± 6.38	0.35 ± 0.14ab	9.90 ± 1.20	51.30 ± 3.67	10.64 ± 0.63a

$P < 0.05$

3.5 玉米产量相关指标的测定

转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株与非转基因植株相比在穗长,穗行数,行粒数方面经统计学分析无显著性差异,但穗长有所增加。

统计学分析表明穗粗方面,转入 *psy* 和 *lycb* 基因的

植株比非转基因植株有增粗趋势。

百粒重是反应产量的重要指标,由表4可见转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株比非转基因植株百粒重明显增加,粒变大变红。

表4 玉米产量相关指标的测定

Table 4 Analysis of yield indicators of maize

植株类型	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗行数	行粒数	百粒重 (g)
非转基因植株	20.56 ± 2.27	4.96 ± 0.48b	16.60 ± 1.14	31.00 ± 2.65	32.5 ± 2.30b
转 <i>psy</i> 基因植株	23.62 ± 2.04	6.80 ± 0.44a	16.40 ± 1.14	30.00 ± 2.12	38.94 ± 2.26a
转 <i>lycb</i> 基因植株	23.60 ± 1.01	6.92 ± 0.52a	16.00 ± 0.71	29.60 ± 2.30	37.92 ± 2.02a

$P < 0.05$

3.6 植株生物量的测定

将类胡萝卜素代谢途径关键酶的基因导入天塔五号自交系植株,能提高植株类胡萝卜素的表达量,消除

光污染,提高光合速率,增加光合产物的积累量。玉米收获后,称其地上茎叶部分干物质的生物量,转 *psy*、*lycb* 基因植株地上部分生物量与非转基因植株相比均

有增加趋势(图4)。

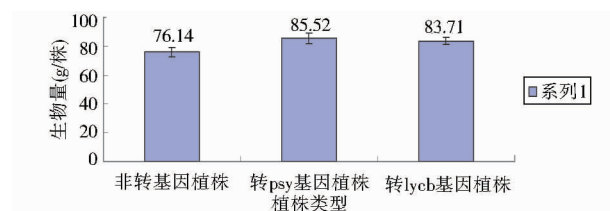


图4 非转基因,转psy基因,转lycb基因植株地上部分生物量

Fig.4 Biomass of plants for Lych gene and Psy gene

## 4 结论与讨论

玉米转基因始于20世纪80年代中期,经过20多年的研究取得了非常迅速的发展。20多年来玉米转基因的方法不断得到优化和发展,各种基因被转入玉米中,从而创造出许多具有新性状的玉米新种质,如抗虫、抗病、抗除草剂、抗盐、抗旱、优质等多种优良玉米品种<sup>[13]</sup>。

本研究以分别转有枸杞八氢番茄红素合成酶基因 *Lmpsy* 和枸杞番茄红素 $\beta$ -环化酶基因 *Lmlycb* 的两种转基因的天塔五号自交系植株为转基因材料,以非转基因的天塔五号自交系为对照组,对它们的光合速率,类胡萝卜素含量,植株性状,产量相关指标,生物量进行了调查和统计学分析。结果表明将类胡萝卜素代谢途径关键酶的基因导入天塔五号自交系植株,能提高植株类胡萝卜素的表达量,消除光污染,提高光合速率,增加光合产物的积累量。农艺性状方面表现为:转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株穗位高/株高与非转基因植株相比有减小趋势,这保证一定株高的前提下,通过降低植株重心,既增强抗倒伏能力又提高自交系自身的生产能力。转基因植株叶面积比非转基因植株有增大趋势,可使叶绿体含量增加,光合作用增强,光合产物积累增多。百粒重是反应产量的重要指标,由转入 *psy* 和 *lycb* 基因的植株比非转基因植株百粒重明显增加,粒变大变红。

由于类胡萝卜素代谢途径非常复杂,控制类胡萝卜素代谢途径的关键酶有多种,其中涉及酶的竞争、瓶颈作用和产物的反馈性抑制<sup>[14-15]</sup>,在今后的研究中将尝试同时导入多种关键酶基因,以期分析多种酶的相互作用及其对植株光合速率,类胡萝卜素含量,产量等相关性状的影响。获得具有优良品质的玉米新品种。

## 参考文献

- [1] 孙学辉, 敖光明: 高赖氨酸基因导入玉米自交系的研究. 农业生物技术学报 2001, 9(2):156-158.  
Sun X H, Ao G M. Transfer of high lysine-rich gene into maize inbred lines and the detection of transgenic plants. Journal of Agricultural Biotechnology, 2001, 9(2):156-158.
- [2] Howitt C A, Pogson B J. Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. Plant, Cell & Environment, 2006, 29(3):435-445.
- [3] Busch M, Seuter A, Hain R. Functional analysis of the early steps of carotenoid biosynthesis in tobacco. Plant Physiol, 2002, 128(2):439-453.
- [4] Jahns P, Holzwarth A R. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics 2011, 553(9):529-539.
- [5] Havaux M, Dall'Osto L, Bassi R. Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in *Arabidopsis* leaves and functions independent of binding to PSII antennae. Plant Physiol 2007, 145(4):1506-1520.
- [6] Jahns P, Holzwarth A R. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 2011, 553(9):529-539.
- [7] Zhang J, Tao N, Xu Q, et al. Functional characterization of Citrus PSY gene in Hongkong kumquat (*Fortunella hindsii* Swingle). Plant Cell Rep, 2009, 28(11):1737-1746.
- [8] 季静, 王罡. 来自龙胆草 (*Getina lutea*) 的5个类胡萝卜素生物相关酶基因对类胡萝卜素生物合成量影响的差异. 农业技术生物学报, 2002, 10(3):62-63.  
Ji J, Wang G. Different influence of biomass of maize transfected with the gene of five carotenoid metabolism enzymes from *Getina lutea*. Journal of Agricultural Biotechnology, 2002, 10(3):62-63.
- [9] Rosati C, Aquilani R, Dharmapuri S, et al. Metabolic engineering of  $\beta$ -carotene and lycopene content in tomato fruit. Plant J, 2000, 24:413-419.
- [10] Dharmapuri S, Rosati C, Pallara P, et al. Metabolic engineering of xanthophyll content in tomato fruits. FEBS Lett, 2002, 519(1-3):30-34.
- [11] 梁燕, 王鸣, 陈杭, 等. 番茄红素 $\beta$ -环化酶反义RNA基因对烟草的遗传转化. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(3):73-76.  
Liang Y, Wang M, Chen H, et al. Transformation analysis of antisense RNA of *Lmlycb* in tobacco. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2003, 31(3):73-76.
- [12] Crafts-Brandner S J, Salvucci M E. Sensitivity of photosynthesis in a  $C_4$  plant, maize, to heat stress. Plant Physiology, 2002, 129

- (4): 1773-1780.
- [13] 荆绍凌, 孙志超, 李淑华. 转基因技术在玉米种质改良中的应用. 中国种业, 2009, (8): 11-13.
- Jing S L, Sun Z C, Li S H. Application of transformation technology to improve maize germplasm. China Seed Industry, 2009, (8): 11-13.
- [14] Busch M, Seuter A, Hain R. Functional analysis of the early steps of carotenoid biosynthesis in tobacco. Plant Physiol, 2002, 128(2): 439-453.
- [15] Rosati C, Aquilani R, Dharmapuri S, et al. Metabolic engineering of beta-carotene and lycopene content in tomato fruit. Plant J, 2000, 24(3): 413-420

## Traits Analysis of Maize with the *Psy* and *Lycb*

YANG Qiu-ling JI Jing WANG Gang WU Wei-dan HUO Pei

(School of Agriculture and Bioengineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract** Two genetically modified Tianta 5 inbred maize lines transfected with *Lmpsy* and *Lmlycb* were made. And they were treated as the experimental groups. While the normal Tianta 5 inbred maize was used as control group. The photosynthetic rate, the carotenoid concentration, the plant character, the yield, and the biomass of each group were detected. Then the data were analyzed statistically. The results indicated that transfected with the gene of carotenoid metabolism key enzyme, the Tianta 5 inbred maize would be improved in the following respects: the carotenoid concentration, the photosynthetic rate, the accumulated stock of photosynthetic products, the reduction of light pollution.

**Key words** Maize Photosynthetic rate Carotinoid Biomass

---

## 广告索引

伯乐生命医学产品(上海)有限公司(封面), 默克化工技术(上海)有限公司(封二), 英潍捷基(上海)贸易有限公司(彩1), 通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限公司(彩2), 宝生物工程(大连)有限公司(彩3), 上海森松制药设备工程有限公司(彩4), 伯乐生命医学产品(上海)有限公司(彩5), 镇江东方生物工程设备公司(彩6-7), 必葛贸易(上海)有限公司(彩8), 北京天一辉远生物科技有限公司(彩9), 3M 中国有限公司(彩10), 上海开放生物科技有限公司(彩11), 安倍医疗器械贸易有限公司(目次对页), 沃特世科技(上海)有限公司(中插1), 上海国强生化装备工程有限公司(中插2-3), 艾本德(上海)国际贸易有限公司(中插4), 安琪酵母股份有限公司(封三), 中国科学院过程工程研究所(封底)