

抗氧化酶对棕色棉色泽的影响

苏翔, 孙旭, 李廷春, 凌磊, 林毅*, 蔡永萍

(安徽农业大学生命科技学院, 合肥 230036)

摘要:以棕色棉和白色棉为材料,测定发育期种皮与纤维中抗氧化酶及色素合成相关物质含量的变化,初步探讨抗氧化酶对棕色棉色泽的影响。结果表明:纤维次生壁沉积期(25~45 DPA),棕色棉种皮颜色显著加深;次生壁沉积后期(35~45 DPA),棕色棉纤维颜色加深明显。花后 28~35 d,浅棕 ANL-2 种皮缩合单宁和总酚含量下降,棕色素积累;花后 35~42 d,深棕 ANL-1 纤维缩合单宁含量降低,总酚含量上升,纤维颜色变化最深。花后 28~35 d,浅棕 ANL-2 种皮 POD 活性下降;花后 35~42 d,棕色棉纤维 POD 活性降低;SOD 与 CAT 对棕色棉色泽影响不大;POD 在次生壁沉积后期(35~45 DPA)参与棕色素的形成。

关键词:棕色棉;抗氧化酶;棕色素;种皮;纤维

中图分类号:S562.01 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2009)06-0448-08

Effect of Antioxidases on Color of Brown Cotton

SU Xiang, SUN Xu, LI Ting-chun, LING Lei, LIN Yi*, CAI Yong-ping

(School of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: Brown and white cotton cultivars were used as materials, the change of the content of related substances to pigment synthesis and the activities of antioxidases both in the fiber and the seed capsule during the development were investigated, and the effect of antioxidases on color of brown cotton was studied. The results indicated that the color of the seed capsule darkened apparently during the secondary cell wall thickening period(25~45 DPA); the color of the fiber darkened obviously during the secondary cell wall thickening period(35~45 DPA). The content of condensed tannin and the phenol in the seed capsule of light brown ANL-2 decreased and pigments accumulated from 28 to 35 DPA; the content of condensed tannin in the fiber of dark brown ANL-1 decreased, while the content of the phenol increased, and the color of the fiber became darkest from 35 to 42 DPA. The activity of POD in the seed capsule of light brown ANL-2 from 28 to 35 DPA decreased, and the activity of POD in the fiber of brown cotton decreased from 35 to 42 DPA; the effect of SOD and CAT on color of brown cotton was small. POD participated in the formation of pigments during the secondary cell wall thickening period(35~45 DPA).

Key words: brown cotton; antioxidases; brown pigment; seed capsule; fiber

棕色棉与白色棉相比,存在纤维色泽不稳定,易分解,色素沉积不规律等不足,了解棕色素化学本质及其合成机理是棕色棉育种的重要生理基础。棕色棉色泽的深浅与纤维中棕色素的积累有关^[1]。棕色素的化学结构尚不完全清楚,但是已有的报道认为棕色素也是一种酚类化合物^[2]。处

于发育阶段的棉纤维若暴露于空气中,不久即会出现棕黄色,这种变色现象符合酚类化合物的特点^[3]。詹少华等^[4]认为棕色素合成前体是多酚类化合物缩合单宁,合成于未发育成纤维的种皮细胞中。棕色素前体从种皮细胞转移至纤维细胞,进一步氧化成棕色的醌类物质。棕色棉发育过程

收稿日期:2008-12-23 **作者简介:**苏翔(1984-),男,硕士, suxiangf1984@gmail.com; *通讯作者, lylllra@mail.hf.ah.cn

基金项目:安徽省“十一五”科技攻关项目(07010302133),高校博士点基金项目(200803640002),安徽省教育厅重点项目(KJ2008A044)

中酚类化合物不仅可能与纤维的品质有关,还可能与棕色色素合成有关。此外,原花色素(缩合单宁)和黄酮醇是拟南芥种皮色素的主要类型^[5]。拟南芥种皮颜色具有不均一性^[6],因为棉纤维实质上是一种特化的种皮细胞,这和棕色棉纤维色泽不均十分相似。因此,拟南芥种皮色素为棕色色素的研究提供了参考。

抗氧化酶在酚类物质被氧化的过程中起到一定的保护抑制作用。FARID^[7]研究认为:甘蓝型黄籽油菜的种皮黑色素是通过多酚类化合物氧化形成简单的聚多型苯环类物质,并在其它氧化物质作用下转变成多巴醌形成而来,抗氧化酶能抑制多酚氧化成多巴醌,从而影响黑色素的合成。陈俊意等^[8]认为,抗氧化酶能阻止褪黑素-3-葡萄糖苷等物质的酰基化和糖基化,从而抑制花色素合成。Roesler^[9]试验表明,抗氧化酶能激活乙酰辅酶A羧化酶,使中间产物流向色素合成途径的可能减少,导致色素合成受到抑制。

目前,棉纤维棕色素的化学本质与合成机理尚未明确,抗氧化酶与棉纤维棕色色素合成的关系也未见报道。因此,本文从氧化角度初步探讨棕色棉色泽的变化关系,以期对棉纤维棕色色素合成机理的研究提供理论依据和实验基础。

1 材料和方法

1.1 供试材料

颜色深浅不同的三种棕色棉,深棕 ANL-1,中棕 ANL-1,浅棕 ANL-2,由安徽农业大学棉花课题组提供。对照白色棉为泗棉3号(表1)。大田种植,常规管理。2007年7月20日至7月22日下午3:00—5:00期间,选择发育正常,无病虫害的植株,在第10到15短果枝节处连续对花蕾发育期及大小基本一致的当日花进行挂牌。花后7d开始取样,每隔7d取样一次,每次取大小均匀的棉铃9~10个,冷藏带回实验室,保存于一70℃冰箱,用于以下测定。

表1 试验材料的主要特性

Table 1 The main traits of the materials

| 名称 | 来源 | 纤维颜色 |
|----------|-----------|------|
| 深棕 ANL-1 | 本实验室 | 深棕 |
| 中棕 ANL-1 | 本实验室 | 中棕 |
| 浅棕 ANL-2 | 本实验室 | 浅棕 |
| 泗棉3号 | 江苏泗阳棉花原种场 | 白色 |

注:中棕 ANL-1,浅棕 ANL-2 是由深棕 ANL-1 自交选育出来的近等基因型。

1.2 实验测定

1.2.1 样品制备。分别取花后7、14、21、28、35、

42 d(DPA, Days post anthesis)的发育期棉铃,待棉铃稍稍解冻后,冰浴解剖棉铃取出胚珠,7 DPA的种皮与棉纤维较幼嫩,采用钝刀片轻微刮取,14 DPA之后的种皮,先用手扯法去除长纤维,再用镊子仔细拔除短纤维,蒸馏水冲净,解剖镜下切开种子用钝刀片小心环拨胚珠,分离出不带胚珠的种皮;镜检种皮无损完好备用。分别称取约0.5~1.0 g种皮与纤维,用于以下测定,每次测定重复3次。

1.2.2 发育期种皮与纤维颜色的观察。分别取14、21、28、35、42 DPA的棉铃,冰浴解剖,每次每种棉铃中取4至5粒种子,立即观察种皮与纤维颜色。

1.2.3 缩合单宁含量的测定。按武予清的方法测定^[10]。称取约0.5~1.0 g种皮与纤维,液氮研磨,将研磨的粉末转入10 mL的试管中,用8 mL提取液(丙酮:水=4:1)分3次冲洗研钵,振荡提取1 h,4℃过夜,对照以体积比33.3%的浓盐酸(水:浓盐酸=2:1)代替显色液(4%香草醛甲醇溶液:浓盐酸=2:1),同样条件处理。计算:缩合单宁含量=OD₅₁₀/w(w=材料重量)。

1.2.4 总酚含量的测定。准确称取0.5 g种皮与纤维,以苯酚为标准物,按4-氨基安替吡啉法进行测定^[11]。

1.2.5 发育期种皮与成熟棉纤维中棕色色素含量的测定。种皮中棕色色素测定:称取1.0 g分离种皮,用适量pH 10.0的NH₃-NH₄Cl溶液研磨,10000 r·min⁻¹离心5 min,取上清液定容至10 mL,以pH 10.0的NH₃-NH₄Cl为对照,于TU-1800 SPC型紫外可见分光光度计测定510 nm下测定吸光度。

成熟期棉纤维色素测定:取0.10 g成熟棉纤维,按照詹少华等^[12]方法测定。

以纯化棕色色素为标准物,标准曲线方程为 $y=0.0011x-0.0039$, $R_2=0.9893$ 。

1.2.6 过氧化物酶(POD, Peroxydase)、超氧化物歧化酶(SOD, Superoxide)、过氧化氢酶(CAT, Catalase)的酶活测定。粗酶液的提取:称取0.1~0.5 g种皮与纤维,加pH 7.8的磷酸缓冲液,冰浴研磨,4℃,12 000 r·min⁻¹离心15 min,上清定容至5 mL,取部分上清经稀释用于酶活测定。

SOD活性采用氮蓝四唑法^[11],POD活性采用愈创木酚比色法测定^[11],CAT活性采用碘量法测定^[13]。

1.2.7 多酚氧化酶(PPO, polyphenoloxidase)

的酶活的定性与定量测定。定性测定:取 0.2 g 不同发育期棉纤维,分别用 5 mL 蒸馏水冰浴磨碎,各取纤维细胞磨碎液 2 mL,分别滴加 1% 邻苯二酚 10 滴,37℃保温并经常摇动试管,观察纤维细胞磨碎液颜色变化^[11]。

定量测定:取种皮 0.5 g,按照杨晓玲^[13]等方法进行测定。

上述试验均重复 3 次。实验数据用 EXCEL 2003 进行统计和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 发育期种皮与纤维颜色的变化

冰浴解剖棉铃之后,立即观察种皮与纤维颜色。发育期种皮色泽随着时间变化而逐渐加深(图 1)。棕色棉在 21 DPA 以前种皮颜色为乳白色,21 DPA 之后,深棕 ANL-1 和浅棕 ANL-2 种皮颜色都明显加深;28 DPA 时,其种皮颜色为黄色或棕黄色。中棕 ANL-1 和泗棉 3 号种皮颜色加深则较为缓慢,35 DPA 之后其种皮颜色略为显著。42 DPA 时,种皮颜色皆达到最深,中棕 ANL-1 尤为明显,种皮颜色呈褐色。故在纤维伸长期(0~25 DPA),种皮颜色无明显变化;在次生壁沉积期(25~45 DPA),种皮颜色显著加深。

发育期棕色棉纤维色泽随着时间变化而逐渐加深(图 2)。棕色棉在 21 DPA 之前,纤维颜色为乳白色;在此之后,棕色逐渐显现。纤维颜色加深最明显的阶段是在 35 DPA 之后。故在次生壁沉积后期(35~45 DPA),棕色棉纤维颜色显著加深。

在实验中,将当天剩余的深棕 ANL-1 的新鲜

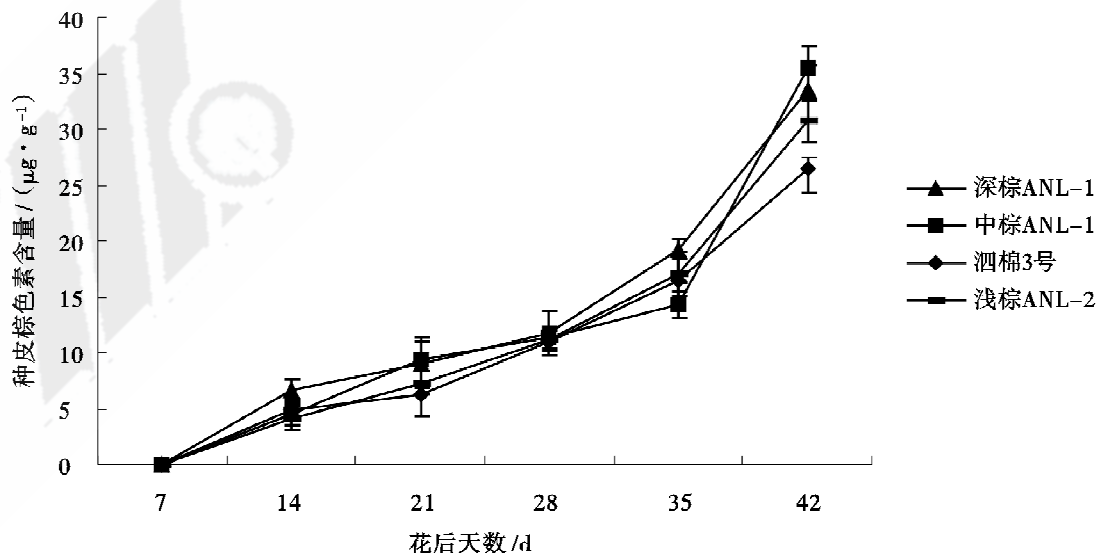


图 4 发育期种皮棕色素含量的变化

Fig. 4 Content of the brown pigment in the seed capsule during the development

种子放置于桌面,观察种皮颜色与时间变化的关系。结果如图 3 所示,随着种子放置于空气中的时间的延长,种皮色泽不断加深。30 min 后种皮颜色即开始变化,24 h 之后最终变成褐色,变化顺序大致为:乳白—黄—棕黄—褐色。说明在离体条件下,棕色棉种皮中的酚类物质被空气逐渐氧化,氧化时间越长,颜色越深。

2.2 成熟棉纤维棕色素的含量与发育期种皮棕色素含量的变化

以上是通过肉眼定性观察发育期种皮颜色的变化,为了更准确地了解发育期种皮颜色,进一步定量测定了发育期种皮棕色素含量的变化规律(图 4)。发育期种皮棕色素含量表现出前期低后期高的趋势。21 DPA 前,种皮棕色素含量较低。21~28 DPA 时,棕色棉种皮棕色素含量增长缓慢。28 DPA 后,深棕 ANL-1 和浅棕 ANL-2 的种皮棕色素含量显著上升,而中棕 ANL-1 和泗棉 3 号的棕色素含量增长缓慢。在 35~42 DPA 阶段,中棕 ANL-1 种皮棕色素含量迅速升高。

从表 2 可见,不同棕色棉成熟棉纤维颜色由深至浅,其纤维棕色素含量由高到低。泗棉 3 号在 510 nm 处无吸收,所以色素含量为 0。

表 2 棕色棉与白色棉成熟棉纤维棕色素(鲜重)的含量

Table 2 Content of brown pigments in the fiber of brown and white cotton cultivars

| 棕色素含量 | 深棕 ANL-1 | 中棕 ANL-1 | 浅棕 ANL-2 | 泗棉 3 号 |
|------------------------|-----------|-----------|----------|--------|
| /(μg·g ⁻¹) | 417.2±0.7 | 262.7±0.5 | 80.9±0.2 | 0 |

2.3 发育期种皮与纤维中缩合单宁和总酚含量的变化

研究发育期种皮与纤维中棕色素前体缩合单宁和总酚含量的动态变化,有助于进一步了解棕色棉的色泽变化规律。

发育期深棕 ANL-1 种皮和纤维的缩合单宁含量明显高于其它品种。特别是 35 DPA 后,深棕 ANL-1 种皮缩合单宁含量上升,而浅棕 ANL-2、泗棉 3 号种皮缩合单宁含量在 28 DPA 后降低(图 5)。28~35 DPA 时,深棕 ANL-1 纤维缩合单宁含量显著降低;35 DPA 后,深棕 ANL-1 纤

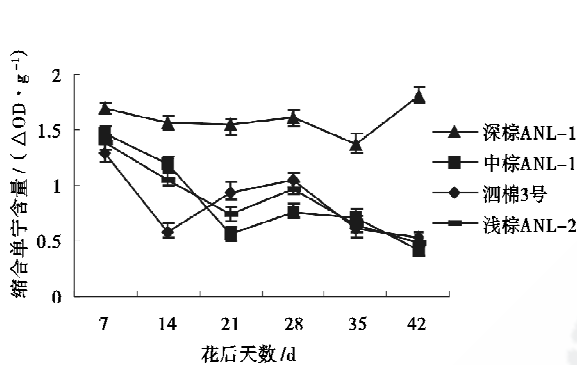


图 5 发育期种皮缩合单宁含量的变化

Fig. 5 Content of condensed tannin in the seed capsule during the development

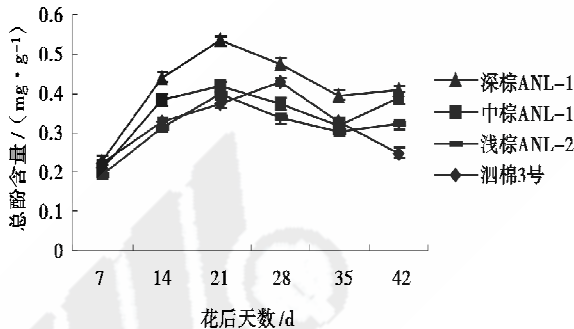


图 7 发育期种皮总酚含量(以鲜重计)的变化

Fig. 7 Content of the phenol in the seed capsule during the development

2.4 发育期种皮与纤维中 PPO 活性的变化

PPO 是引起酶促褐变的主要酶类,其在分子氧存在的条件下作用于酚类物质,使酚类物质氧化成羟基醌^[13]。如图 9 所示,棕色棉和白色棉纤维中的 PPO 定性鉴定结果皆为阴性,纤维中检测不出 PPO 活性。棉纤维发育期,色素合成前体缩合单宁等多酚类物质的氧化过程中,可能没有 PPO 的作用,PPO 不参与纤维棕色素的合成。

从图 10 可见,21~28 DPA 时,棕色棉种皮

纤维中缩合单宁含量持续下降,而此时其种皮中缩合单宁含量上升。泗棉 3 号纤维缩合单宁含量一直很低,28 DPA 后升高,而此时其种皮中缩合单宁含量降低。中棕 ANL-1 和浅棕 ANL-2 纤维中缩合单宁含量在两者之间,变化不明显(图 6)。

图 7、图 8 表明,深棕 ANL-1 种皮总酚含量高于其它品种,泗棉 3 号纤维总酚含量低于棕色棉品种。21~28 DPA 时,棕色棉种皮与纤维中总酚含量下降,泗棉 3 号种皮与纤维中总酚含量升高。35~42 DPA 时,中棕 ANL-1 种皮总酚含量有所上升,深棕 ANL-1 纤维总酚含量增加较为缓慢。

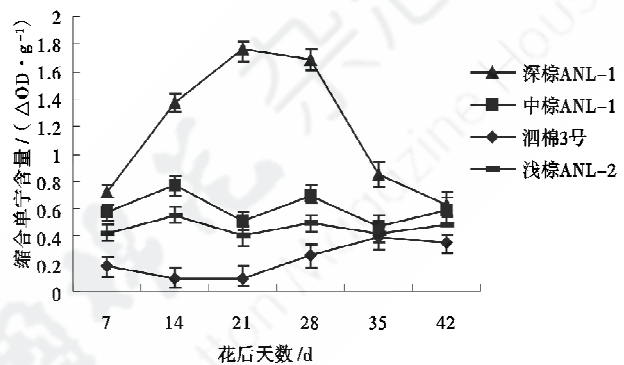


图 6 发育期纤维缩合单宁含量的变化

Fig. 6 Content of condensed tannin in the fiber during the development

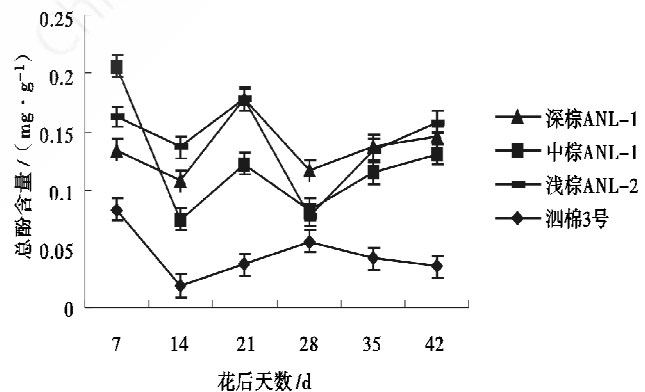


图 8 发育期纤维总酚含量(以鲜重计)的变化

Fig. 8 Content of the phenol in the fiber during the development

PPO 活性上升,泗棉 3 号种皮 PPO 活性下降。28 DPA 之后,棕色棉种皮 PPO 活性急剧下降,泗棉 3 号种皮 PPO 活性升高。在 35~42 DPA 阶段,深棕 ANL-1 种皮 PPO 活性下降趋势最为显著。经相关分析,种皮 PPO 活性与棕色棉种皮棕色素含量相关不明显。

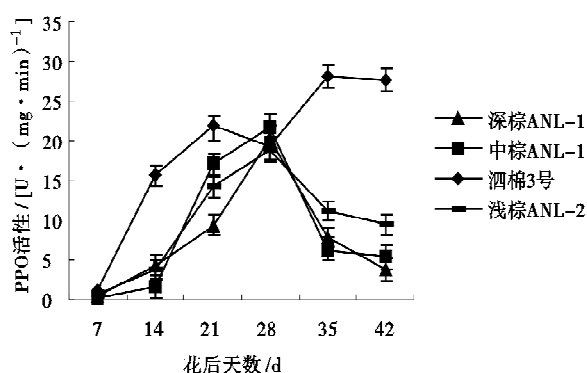


图 10 发育期种皮中 PPO 活性变化

Fig. 10 Polyphenoloxidase activity in the seed capsule during the development

2.5 发育期种皮与纤维中 POD、SOD、CAT 活性变化

抗氧化酶在酚类物质被氧化的过程中起到一定的保护抑制作用,所以定量测定发育期种皮与纤维中的抗氧化酶的活性变化规律,可以进一步探讨抗氧化酶对棕色棉色泽的影响。

图 11、12 表明,深棕 ANL-1 种皮 POD 活性明显低于其它品种。21~35 DPA 时,中棕 ANL-1 和

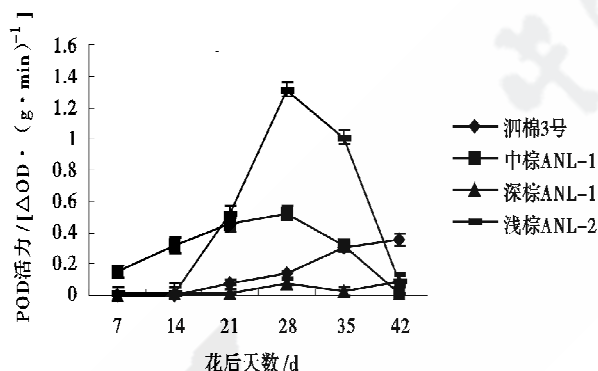


图 11 发育期种皮中 POD 活性(鲜重)变化

Fig. 11 Peroxydase activity in the seed capsule during the development

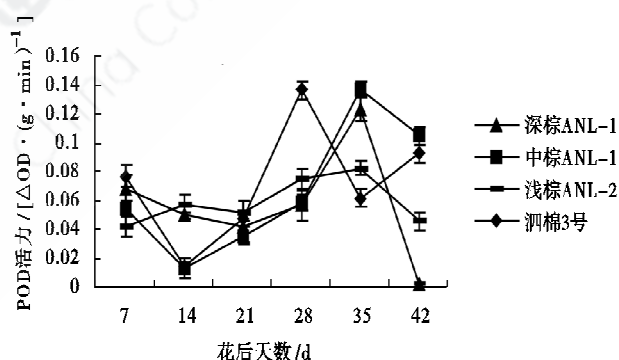


图 12 发育期纤维中 POD 活性(鲜重)变化

Fig. 12 Peroxydase activity in the fiber during the development

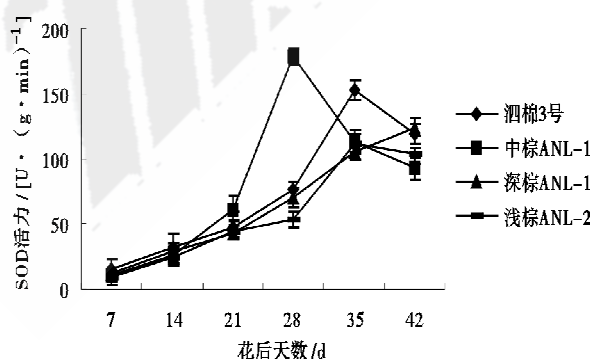


图 13 发育期种皮中 SOD 活性变化

Fig. 13 Superoxide dismutase activity in the seed capsule during the development

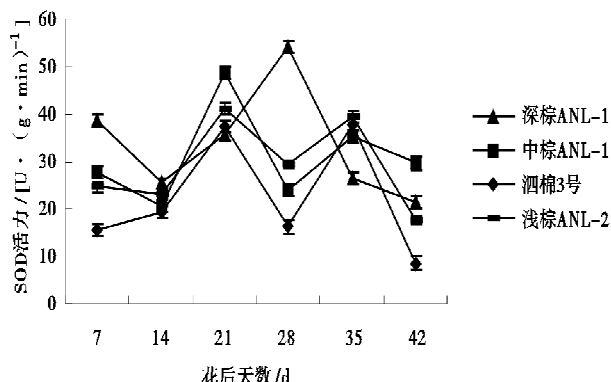


图 14 发育期纤维中 SOD 活性变化

Fig. 14 Superoxide dismutase activity in the fiber during the development

浅棕 ANL-2 种皮 POD 活性呈先升后降的趋势,浅棕 ANL-2 变化幅度明显。35~42 DPA 时,泗棉 3 号纤维 POD 活性上升,棕色棉纤维 POD 活性降低,深棕 ANL-1 下降尤为显著。经相关分析,35 DPA 和 42 DPA 时,种皮 POD 活性与棕色棉种皮棕色素含量呈显著和极显著负相关($R_{35 \text{ DPA}}^2 = -0.91551^{**}$, $R_{42 \text{ DPA}}^2 = -0.99814^{**}$)。

由图 13、14 所见,棕色棉种皮 SOD 活性表现前低后高趋势。中棕 ANL-1 种皮 SOD 活性在 28 DPA 后显著降低。棕色棉与泗棉 3 号纤维 SOD 活性变化规律不明显,经相关分析,种皮 SOD 活性与棕色棉种皮棕色素含量相关不显著。

发育期种皮 CAT 活性先升后降,纤维 CAT 活性变化规律性不明显(图 15、16)。浅棕 ANL-2 和中棕 ANL-1 种皮 CAT 活性分别在 21 DPA 和 35 DPA 后下降,且中棕 ANL-1 种皮 CAT 活性高于其它品种。经相关分析,35 DPA 时,种皮 CAT 活性与棕色棉种皮棕色素含量呈极显著负相关($R_{35 \text{ DPA}}^2 = -0.96486^{**}$)。

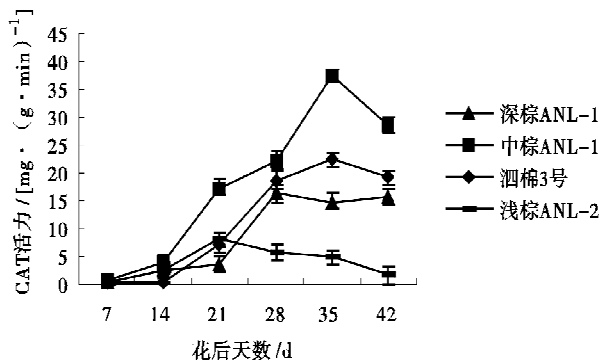


图 15 发育期种皮中 CAT 活性(鲜重)变化

Fig. 15 Catalase activity in the seed capsule during the development

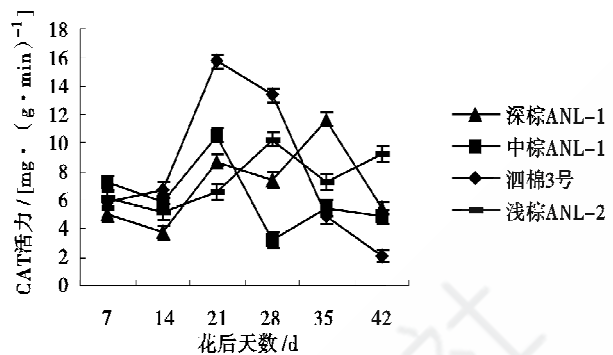


图 16 发育期纤维中 CAT 活性(鲜重)变化

Fig. 16 Catalase activity in the fiber during the development

3 结论与讨论

3.1 缩合单宁含量

棕色棉种皮与纤维发育期,缩合单宁含量变化表现出一定的规律。28 DPA 后,浅棕 ANL-2 种皮色泽显著加深,种皮中缩合单宁的含量下降,主要原因是前体部分被消耗,氧化成有色的醌类物质,形成棕色色素沉积,同时也有可能转移到棉纤维中^[4]。28~35 DPA 时,深棕 ANL-1 纤维中缩合单宁含量降低,可能原因是该时期棉铃开始裂铃,缩合单宁与空气接触被氧化,棕色色素积累,使得纤维颜色逐渐变深^[14]。关于酚类物质在棉铃发育期的变化规律,21~28 DPA 时,泗棉3号总酚含量升高,棕色棉总酚含量降低,可能是棕色素的合成消耗了部分酚类物质。中棕 ANL-2 种皮总酚含量在 35 DPA 后有上升趋势,这可能与色素本身也是一种酚类物质有关^[3]。从 PPO 定性试验结果来看,在棉铃发育期,纤维棕色素的合成可能没有 PPO 的参与,棕色素的合成机制不同于一般的多酚氧化机制,有待于进一步研究。

3.2 抗氧化酶 POD 对棕色棉色泽在发育特定时期有一定的影响

中棕 ANL-1 和浅棕 ANL-2 种皮 POD,在 21~28 DPA 时,酶活性上升,同时期种皮缩合单宁含量有所增加,总酚含量降低平缓,色素积累缓慢,种皮颜色较浅,可能的原因即抗氧化酶活性增加,抑制多酚类化合物氧化成醌。28~35 DPA 时,浅棕 ANL-2 种皮 POD 活性的下降使得色素前体氧化程度不断加深,种皮缩合单宁和总酚含量降低,棕色色素大量积累,种皮颜色不断变深。在 35 DPA 和 42 DPA 时,种皮 POD 活性变化对棕色色素合成的影响最为明显。在纤维次生壁沉积后

期,35~42 DPA 时,棕色棉纤维颜色由浅变深,纤维 POD 活性降低,影响棕色素的合成^[3]。深棕 ANL-1 纤维 POD 活性下降幅度最大,而其同时期的纤维缩合单宁含量降低,总酚含量缓慢上升,纤维颜色变化最深。所以推测,可能在棕色素合成途径的末端,在纤维发育的次生壁沉积后期,有过氧化物酶 POD 的参与,POD 与其它色素合成关键酶一起协同作用。SOD 和 CAT 对棕色棉色泽影响不大。

参考文献:

- [1] 董合忠,李维江,唐薇,等.彩色棉纤维发育与色素形成[J].中国棉花,2004,31(2):2-4.
DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Tang Wei, et al. Development of fibers and formation of pigments of colored cotton[J]. China Cotton, 2004, 31(2): 2-4.
- [2] 赵向前,王学德.天然彩色棉纤维色素成分的研究[J].作物学报,2005,31(4):456-462.
ZHAO Xiang-qian, Wang Xue-de. Composition analysis of pigment in colored cotton fiber[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(4): 456-462.
- [3] 詹少华,林毅,蔡永萍,等.棕色棉纤维中酚类物质动态变化与色素合成的关系[J].作物学报,2006,32(11):1684-1688.
ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Cai Yong-ping, et al. Relationship between dynamic changes of the phenolic compounds and pigment synthesis in cotton fiber of natural brown cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(11): 1684-1688.
- [4] 詹少华,林毅,蔡永萍,等.缩合单宁与天然棕色棉纤维色素合成的关系[J].棉花学报,2007,19(3):183-188.
ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Cai Yong-ping, et al. Relationship between the pigment in natural brown cot-

- ton fiber and condensed tannin[J]. Cotton science, 2007, 19(3): 183-188.
- [5] CHAPPLÉ C C S, Shirley B W, Zook M, et al. Secondary metabolism in *Arabidopsis* [M]// Meyerowitz E M, Somerville C R. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1994: 989-1030.
- [6] DEBEAUJON I, Peeters A J M, Lon-Kloosterziel K M, et al. The TRANS PARENT TESTA12 gene of *Arabidopsis* encodes a multidrug secondary transporter-like protein required for flavonoid sequestration in vacuoles of the seed coat endothelium[J]. Plant Cell, 2001, 13(4): 853-872.
- [7] FARID K, Bernard R. Mechanism of browning in fresh high bush blueberry fruit. Role of blueberry polyphenoloxidase, chlorogenic acid and anthocyanins[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 74(1): 31-34.
- [8] 陈俊意, 刘 娜, 梁翰文. 甘蓝型黄籽油种皮色素与抗氧化酶的关系[J]. 广西农业科学, 2006, 37(6): 656-659.
- CHEN Jun-yi, Liu Na, Liang Han-wen. Relationship between pigments and antioxidases in testa of yellow-seeded of *Brassica napus* L. [J]. Guangxi Agricultural Science, 2006, 37(6): 656-659.
- [9] ROESLER K. β -ketoacyl-ACP synthase of the tub B gene and identification of the cerulenin binding residue [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 53: 357-370.
- [10] 武予清, 郭予元. 棉花植株中的单宁测定方法的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 243-245.
- WU Yu-qing, Guo Yu-yuan. Determination of tannin in cotton plant[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): 243-245.
- [11] 朱广廉, 钟海文. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988: 120-121.
- ZHU Guang-lian, Zhong Hui-wen. Plant physiology experiments[M]. Beijing: Beijing University Press, 1988: 120-121.
- [12] 詹少华, 林 毅, 蔡永萍, 等. 天然棕色棉色素提取、纯化及其 UV 光谱研究[J]. 激光生物学报, 2004, 13(5): 324-328.
- ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Cai Yong-ping, et al. Extraction and purification of the pigment of natural brown cotton and its UV spectral properties[J]. Acta Laser Biology Sinica, 2004, 13(5): 324-328.
- [13] 杨晓玲, 张建文, 刘永军, 等. 马铃薯块茎发芽过程中酚类物质含量及其相关酶活性的变化[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(4): 347-348.
- YANG Xiao-ling, Zhang Jian-wen, Liu Yong-jun, et al. Changes in phenols content and activities of relative enzymes during germination of potato tuber [J]. Plant Physiology Communications, 2002, 38(4): 347-348.
- [14] 詹少华, 林 毅, 蔡永萍, 等. 天然棕色棉色素分布规律及色素合成与纤维发育的关系[J]. 棉花学报, 2006, 18(3): 170-174.
- ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Cai Yong-ping, et al. The pigment distribution regulation of the natural brown cotton and relationships between and cotton fiber development [J]. Cotton Science, 2006, 18(3): 170-174.
- [15] 邱新棉, 周文龙, 李茂松, 等. 天然彩色棉纤维素的遗传基础形成及湿处理色素变化规律的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 610-615.
- QIU Xin-mian, Zhou Wen-long, Li Mao-song, et al. Study on the genetics and production of fiber pigments and color deviation after wetting process of natural colored cotton[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(6): 610-615.
- [16] 王学德, 李悦有. 彩色棉纤维色素提取和测定方法的研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(6): 596-600.
- WANG Xue-de, Li Yue-you. Study on extraction and quantification of fiber pigment matter in colored cotton[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science, 2002, 28(6): 596-600.
- [17] WAGHMARE V N, Koranne K D. Colored cotton present status, problems and potentials[J]. Indian Genetics & Plant Breeding, 1998, 58(1): 1-15.
- [18] LANE H C, Schuster A. Condensed tannins of cotton leaves[J]. Phytochemistry, 1981, 20(3): 425-427. ●