

抗坏血酸氧化酶与西葫芦叶片及果实发育的关系

崔琳霞¹, 雷锋进²

(1 山西运城农业职业技术学院 农林与工程系, 山西 运城 044000; 2 山西省农科院 棉花研究所, 山西 运城 044000)

【摘 要】 【目的】探讨抗坏血酸氧化酶(AAO)活性变化与西葫芦生长发育的关系,揭示不同蔓性西葫芦长势和产量存在差异的原因,为西葫芦的遗传育种研究提供参考。【方法】以 2 个半矮蔓西葫芦品种和 2 个矮蔓西葫芦品种为材料,采用完全随机区组排列,测定西葫芦叶片、果实生长发育的相关指标及 AAO 活性,研究 AAO 活性与西葫芦叶片及果实发育的关系。【结果】在西葫芦生长发育过程中,2 个半矮蔓西葫芦品种 C1、C2 的叶长、叶宽以及果实瓜长、瓜径均较 2 个矮蔓西葫芦品种 D1、D2 大;而伴随着叶片与果实的发育,品种 C1、C2 叶片与果实中 AAO 活性均较品种 D1、D2 高,说明 AAO 活性与西葫芦叶片、果实的发育密切相关;在收获期,品种 C1、C2 产量较品种 D1、D2 大。4 个西葫芦品种的不同叶龄 AAO 活性均存在差异,其活性依次为:顶端发育叶片>中部发育叶片>下层衰老叶片,说明 AAO 可能参与叶片的抗衰老功能。【结论】AAO 活性与西葫芦的生长发育呈正相关,对西葫芦的生长发育及产量形成有促进作用。

【关键词】 西葫芦; 叶片发育; 果实发育; 抗坏血酸氧化酶

【中图分类号】 S642.601

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)07-0091-06

Relations between ascorbic acid oxidase and the development of the leaf and fruit of *Cucurbita pepo* L.

CUI Lin-xia¹, LEI Feng-jin²

(1 Agriculture and Engineering Department, Yuncheng Agricultural Vocational Technical College, Yuncheng, Shanxi, 044000, China;

2 Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng, Shanxi, 044000, China)

Abstract: 【Objective】 By searching for the relations between AAO and the development of *Cucurbita pepo* L. we wanted to find the reasons for the development and yield of different *Cucurbita pepo* L. varieties and give the references to the genetic and breeding research of *Cucurbita pepo* L. 【Method】 Two semi-bush varieties and two bush varieties were chosen to be materials which were completely randomly designed and three triplications. By determining the correlation indicators of the development of the leaf and fruit and the AAO activity, the relations between AAO and the development of the leaf and fruit of *Cucurbita pepo* L. were analyzed. 【Result】 The leaf length, leaf width, fruit length and fruit diameter of the two semi-bush varieties C1, C2 were all higher than those of the bush varieties D1, D2 during the development of *Cucurbita pepo* L.; the AAO activity of the leaf and the fruit of variety C1, C2 was all higher than that of variety D1, D2 during the development of the leaf and the fruit, which indicated that AAO activity was correlated with the leaf and the fruit development; at the mature stage, the yield of variety C1, C2 was higher than that of variety D1, D2. And AAO specific activity of different leaf ages among different varieties showed difference, the order being: Young>intermediate>old, which indicated that AAO may be correlated with anti-senescence function. 【Conclusion】 The AAO activity was correlated with development and yield of *Cucurbita pepo* L., which can promote the development and yield of *Cucurbita pepo* L..

* [收稿日期] 2009-02-27

[基金项目] 山西省科技攻关项目“优质抗病彩色西葫芦新品种选育”(20070310027-2)

[作者简介] 崔琳霞(1969—),女,山西运城人,在读推广硕士,主要从事植物病虫害防治研究。

Key words: *Cucurbita pepo* L.; development of leaf; development of fruit; ascorbic acid oxidase

抗坏血酸氧化酶(ascorbic acid oxidase, AAO, EC 1.10.3.3)属于多铜氧化酶家族,它定位于细胞壁,在植物界广泛存在^[1]。AAO 与其他氧化还原反应相偶联起到末端氧化酶的作用,能将抗坏血酸氧化为单脱氢抗坏血酸,从而调控植物体外抗坏血酸库的氧化还原状态,在植物体内的物质代谢中具有重要的作用^[2]。目前,AAO 活性的变化在葫芦科^[3-7]、烟草^[8]、水稻^[9]、猴头菇^[10]、刺梨^[11]、小麦^[12]等植物中得到广泛研究,且已证明最丰富的天然 AAO 存在于葫芦科中^[5-9],其与植物的生长发育及延缓衰老有着十分密切的关系^[13-14]。

西葫芦是我国日光温室普遍栽培的瓜类蔬菜之一。近年来,随着国外品种的引进和国内育种水平的不断提高,半矮蔓西葫芦品种在日光温室得到普遍种植。这些西葫芦品种生长势强、发育快、产量高^[15-16],但其是否与 AAO 活性变化有关,目前尚未见报道。为此,本研究测定了不同蔓性西葫芦品种叶片和果实发育过程中 AAO 活性的变化,探索 AAO 活性变化与西葫芦生长发育的关系,揭示了不同蔓性西葫芦长势和产量存在差异的部分生理原因,以为西葫芦的遗传育种研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料分别为 2 个半矮蔓西葫芦品种法国冬玉(代号 C1,下同)和长青王 4 号(C2),及 2 个矮蔓西葫芦品种长青 3 号(D1)和早青一代(D2),种子均由山西省农科院棉花研究所西葫芦育种组提供。

1.2 田间试验设计和栽培管理

试验于 2008 年 3~6 月在山西农业大学园艺学院三连栋温室进行。采用完全随机区组排列,3 次重复,小区面积为 30 m²,宽窄行种植,宽行 130 cm,窄行 70 cm,株距 50 cm,每个小区种植 60 株。全生育期 110 d。施肥灌水及病虫害防治均按日光温室高产栽培管理方法进行。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶长、叶宽及 AAO 活性 在结瓜盛期 05-25 开始,每个品种选取大小基本一致(约 10 m²)的初展叶 3 片,每天上午 8:00~9:00 测量其叶长和叶宽,直至叶片的长与宽不再增长(发育成熟)后 4 d。在测定叶片叶长、叶宽发育过程中,同步取 4 个品种的叶片,测定其 AAO 活性的变化,每 2 d 测定 1 次,

至叶片发育成熟后,再测定 2 次,共测定 9 次。

1.3.2 不同叶龄叶片 AAO 活性 在结瓜盛期 05-26,取 4 个西葫芦品种的顶端发育叶片(第 3 片叶)、中层成熟叶片(第 10 片叶)和下层衰老叶片(第 15 片叶),从长势一致的 3 株上取叶,同一品种相同叶龄的叶片混合,测定其 AAO 活性。

1.3.3 叶片数与幼叶 AAO 活性 从播种后 30 d 开始,每隔 10 d 调查 4 个西葫芦品种的叶片数,同时测定 1 次各品种顶端初展幼叶的 AAO 活性,至生育期结束。

1.3.4 瓜长、瓜径及果实 AAO 活性 在结瓜盛期,每个品种选取发育正常、当天开放、瓜胎顺直的雌花 20 个做标记,去除其他雌花,授粉后每天每品种固定测量 5 个果实的长度和直径的生长量;在其他标记的花上,取 4 个西葫芦品种果实的中心部位组织测定 AAO 活性,授粉后 3~4 h 测定 1 次,以后每天上午 9:00 测定 1 次,直到商品瓜采收为止。

1.3.5 产量 以市场商品瓜大小(350~450 g)为标准,收获并记录各处理的小区产量及产量构成因素。每个品种每重复测定 5 株,记载单株结瓜数、座瓜率和单瓜质量。

1.3.6 AAO 活性的测定 AAO 的提取采用 Oberbacher 等^[17]的方法并稍加修改。用冰壶取鲜样后,立即到实验室称取叶片或果实样品 1 g 左右,用蒸馏水漂洗 1 次,然后将其剪碎,放入研钵中,加入 5 mL 0.1 mol/L pH 7.1 的磷酸缓冲液和 1 g 石英砂,冰浴匀浆;取匀浆液于 TGL-18A 高速冷冻离心机,在 4 ℃下离心(8 000 r/min) 15 min,其上清液即为粗酶提取液,供测定用。用 0.01 mol/L 还原型抗坏血酸作底物,反应温度为 22 ℃,采用岛津 UV-265 型分光光度计,在 265 nm 处测定反应的初始速度 2 min 酶活性,重复 3 次。酶活单位(1 酶活单位为 1 min 氧化 1 g 还原性抗坏血酸的酶量)为“U/(min·g)。”

2 结果与分析

2.1 不同西葫芦品种叶片数与产量性状的比较

从表 1 可见,在全生育期 110 d 内,参试西葫芦品种单株叶片数有明显差异,2 个半矮蔓品种的叶片数显著高于 2 个矮蔓品种,矮蔓品种 D1 高于矮蔓品种 D2;从产量性状看,单瓜质量各品种之间差异不显著,2 个半矮蔓品种的座瓜率、单株结瓜数和

小区产量显著高于 2 个矮蔓品种,相关分析表明,半矮蔓品种和矮蔓品种的小区产量与座瓜率极显著正相关(r 分别为 0.998 9** 和 0.999 8**),与单株结瓜数显著相关(相关系数均为 $r=0.966\ 3^*$)。李建

友等^[18]研究表明,影响西葫芦产量的主要因素是单株结瓜数和单瓜质量,结合本研究结果认为,参试品种的产量差异主要是单株结瓜数不同所致。

表 1 不同西葫芦品种叶片数与产量性状的比较

Table 1 Comparison of leaf number and yield character of different zucchini varieties

品种 Variety	单株叶片数 Leaf number per plant	座瓜率/% Set fruit ration	单瓜质量/g Weight per fruit	单株结瓜数 Number per plant	小区产量/kg Plot yield
C1	65.9±1.74 a	38.5±2.64 a	347.6±7.43 a	12.6±1.78 a	84.9±0.94 a
C2	66.7±1.54 a	40.4±2.34 a	350.1±5.43 a	12.3±1.46 a	88.7±0.64 a
D1	60.7±1.46 b	29.4±3.31 b	340.0±3.28 a	10.3±1.49 b	67.6±1.67 b
D2	57.6±1.27 c	26.3±2.67 c	353.3±4.76 a	8.0±1.67 c	60.7±1.26 c

注:同列数据后标不同字母表示在 0.05 水平上差异显著,标相同字母表示差异不显著。下表同。

Note:In the same column,values followed by the different lowerease letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as in the tables below.

2.2 不同西葫芦品种 AAO 活性与叶片发育的关系

2.2.1 叶片发育动态的比较 西葫芦的长势与叶片的生长速度有关,通过测量其叶长、叶宽的变化可以反映叶片的生长动态。本研究中,由于 2 个矮蔓品种之间叶长、叶宽的差异较小,2 个半矮蔓品种之间的叶长、叶宽也较为接近,因此分别取矮蔓和半矮蔓品种叶长、叶宽的平均值,结果如图 1-A 所示。由图 1-A 可见,西葫芦叶片的叶宽大于叶长,从幼叶初

展到基本发育成熟需要 12~13 d,半矮蔓型的叶长、叶宽均大于矮蔓型。图 1-B 是不同西葫芦品种叶长、叶宽对叶片发育时间的对数生长曲线。图 1-B 表明,2 个不同蔓型西葫芦品种相比较,1~6 d 叶片的生长速度呈直线上升,半矮蔓品种叶长的生长速度为 2.99 cm/d,叶宽为 3.39 cm/d,而矮蔓品种叶长的生长速度为 1.90 cm/d,叶宽为 2.44 cm/d,可见 2 个半矮蔓品种叶片生长速度快于矮蔓品种。

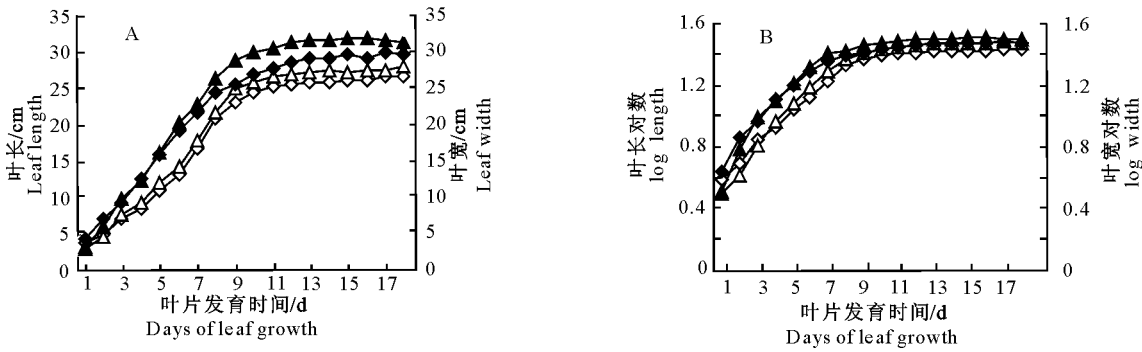


图 1 不同西葫芦品种叶片发育动态的比较

—◇—,矮蔓叶长;—△—,矮蔓叶宽;—◆—,半矮蔓叶长;—▲—,半矮蔓叶宽

Fig.1 Comparison of dynamics leaf growth of different zucchini varieties

—◇—,Bush leaf length;—△—,Bush leaf width;—◆—,Semi-bush leaf length;—▲—,Semi-bush leaf width

2.2.2 叶片初展到成熟过程中 AAO 活性的比较

从图 2 可以看出,不论是半矮蔓西葫芦品种还是矮蔓西葫芦品种,在结瓜盛期,叶片的 AAO 活性均随叶片的生长发育而逐渐减小。叶片初展时,不同品种之间 AAO 活性差异不大,如 C1、C2、D1、D2 分别为 13.32、13.55、12.82 和 13.03 U/(min·g),前 7 d 半矮蔓品种叶片的 AAO 活性高于矮蔓品种,且差异达显著水平($P<0.05$);7 d 后半矮蔓品种叶片 AAO 活性急剧下降,但在叶片发育过程中,与矮蔓品种相比,半矮蔓品种叶片 AAO 活性始终较高;14

d 后,叶片发育成熟的矮蔓品种的 AAO 活性高于半矮蔓品种,说明 AAO 活性和叶片的生长发育有关。在叶片发育过程中,半矮蔓西葫芦品种叶片生长速度较矮蔓品种快,可能与半矮蔓品种叶片 AAO 活性高于矮蔓品种有关。

2.2.3 不同叶龄叶片 AAO 活性的比较

由表 2 可见,在结瓜盛期,同一西葫芦品种不同叶龄之间,顶端发育叶片的 AAO 活性最大,其次是中层成熟叶片,最低为下层衰老叶片,其 AAO 活性平均是顶端发育叶片的 24.5%,其变化趋势与文献[7]的研

究结论一致。从蔓性看,半矮蔓西葫芦品种顶端发育叶片 AAO 活性高于矮蔓品种,差异达显著水平,而中部成熟叶片和下部衰老叶片的 AAO 活性小于矮蔓品种,差异亦达显著水平。

2.2.4 不同发育时期幼叶 AAO 活性的比较 图 3 表明,不同西葫芦品种的单株叶片数在播种后 30~90 d 内几乎没有差异;第 90~110 天,各品种叶片数发生分化,第 110 天时,C1、C2、D1、D2 的总叶片数分别为 65.9、66.7、60.7、57.6,差异达显著水平。从播种后 30 d 到 70 d,各品种顶端初展叶片的 AAO 活性呈缓慢上升趋势,品种之间差异不明显;播种后 80~110 d,供试品种顶端初展幼叶的 AAO 活性均呈急剧下降趋势,但 2 个半矮蔓品种的 AAO 活性较 2 个矮蔓品种衰减慢,且差异显著($P < 0.05$)。综上所述,西葫芦播种后 30~80 d,各品种顶端初展幼叶 AAO 活性差异不显著,其叶片数差

异亦不明显;播种后 90~110 d 时,幼叶的 AAO 活性差异显著,其叶片数亦有明显差异,可见西葫芦幼叶中的 AAO 活性与叶片数呈正相关。

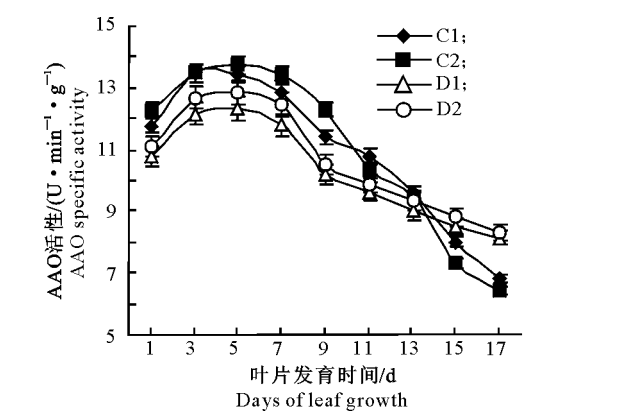


图 2 不同西葫芦品种叶片发育过程中 AAO 活性的变化
Fig. 2 Changes of AAO specific activity with leaf growth of different zucchini varieties

表 2 西葫芦不同叶龄叶片 AAO 活性的比较

Table 2 Comparison of AAO specific leaf activity of different ages among different zucchini varieties U/(min · g)			
品种 Variety	顶端发育叶片(3th) Young	中层成熟叶片(10th) Intermediate	下层衰老叶片(15th) Old
C1	13.82±0.12 a	8.42±0.16 b	2.04±0.05 a
C2	13.53±0.21 a	7.12±0.25 b	3.48±0.12 a
D1	12.83±0.14 b	10.06±0.22 a	4.42±0.13 b
D2	12.16±0.16 b	9.48±0.18 a	4.12±0.11 b
[(C1+C2)/2]	13.67±0.16 a	7.77±0.21 b	2.26±0.08 b
[(D1+D2)/2]	12.50±0.15 b	10.27±0.20 a	4.27±0.12 a

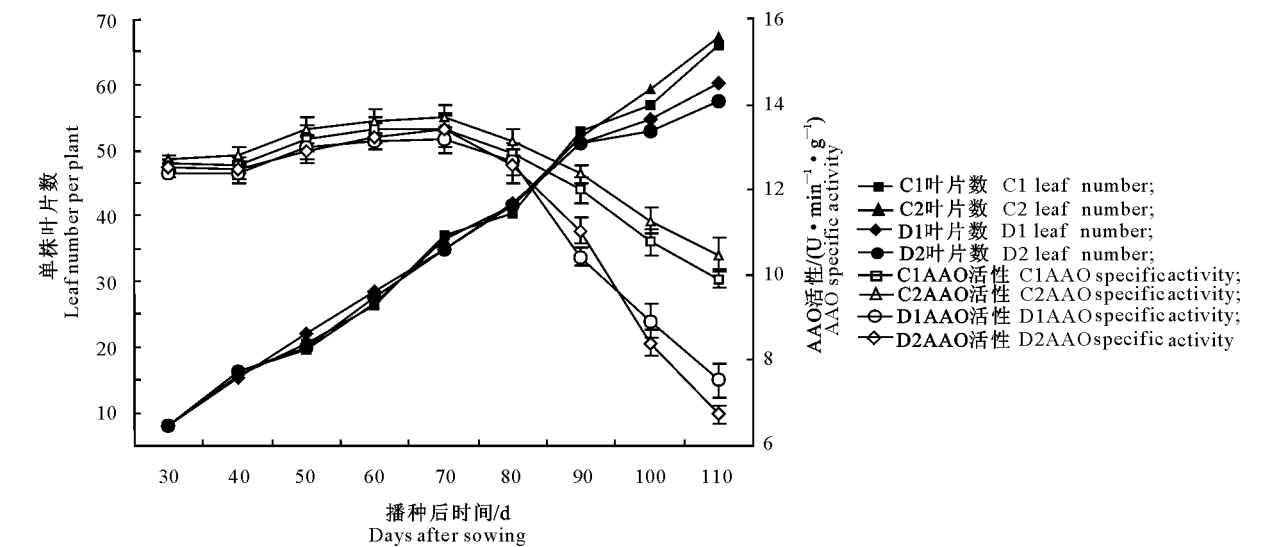


图 3 不同发育时期西葫芦幼叶 AAO 活性的变化

Fig. 3 Changes of AAO specific activity of different zucchini varieties in the different stages

2.3 不同西葫芦品种 AAO 活性与果实发育的关系

2.3.1 果实发育动态的比较 由图 4 可知,开花

时,各西葫芦品种的幼瓜长和瓜径差异不明显,幼瓜长平均为 5.05 cm,瓜径平均为 1.95 cm;授粉后 1~6 d 瓜长和瓜径迅速膨大,半矮蔓品种和矮蔓品种的

瓜长平均生长速度分别为 2.13 和 1.65 cm/d,瓜径的平均生长速度分别为 1.00 和 0.79 cm/d,表明授粉后 1~6 d 半矮蔓西葫芦果实的生长速度较矮蔓品种快;授粉后 6~14 d 果实增长趋缓,以市售标准瓜长 22 cm 左右、瓜径 7.0 cm 左右作为采收标准,

则 2 个半矮蔓品种在授粉后 9~10 d 即可上市,2 个矮蔓品种需要 11~12 d,可见半矮蔓品种的果实膨大速度较矮蔓快,这可能与半矮蔓单株结瓜数较矮蔓品种多有关。

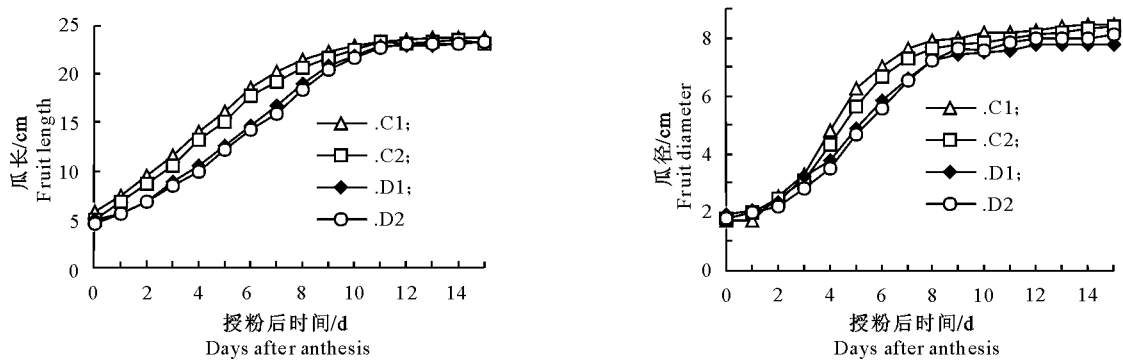


图 4 不同西葫芦品种果实的发育动态

Fig. 4 Dynamic of fruit growth of different zucchini varieties

2.3.2 果实生长发育过程中 AAO 活性的比较

由图 5 可知,4 个西葫芦品种雌花授粉后 3~4 h (图中以 0 d 表示) AAO 活性较低,但不同品种间差异不明显。从授粉后第 1 天开始,4 个西葫芦品种的 AAO 活性均增大,至第 3 天达到最大,这与文献[7]的研究结论一致。半矮蔓品种的 AAO 活性最高平均为 17.12 U/(min · g),矮蔓品种平均为 14.23 U/(min · g)。授粉后第 4~6 天,AAO 活性缓慢下降,第 6 天后急剧下降。在果实发育过程中,半矮蔓品种的 AAO 活性明显高于矮蔓品种,且差异达显著水平,这与王金胜等[10]研究猴头菇子实体膨大时 AAO 活性的变化趋势一致。

⁶⁰Coγ 射线照射后,白菜幼苗 AAO 活性提高,刺激幼苗生长,加速发育,增加了白菜的产量[19]。在对猴头菇从子实体形成到成熟期间 AAO 活性的变化研究中发现,子实体生长初期,AAO 活性较小,随着子实体生长酶活性增大,但达到一定时期后酶活性变化很小[10]。Muneharu 等[3]研究认为,南瓜茎和叶中含有丰富的 AAO,幼苗发育中 AAO 活性在不断增强,幼嫩果实中 AAO 含量远高于成熟果实。本研究结果表明,西葫芦不同部位及不同生长阶段的 AAO 活性不同,生长旺盛的幼叶或幼果的 AAO 活性较大,生长缓慢或衰老部分的 AAO 活性较低;在叶片和果实中,AAO 活性与其发育速度呈正相关,半矮蔓品种叶片和果实发育快,主要是由于其发育前中期的 AAO 活性较矮蔓品种高,说明在叶片和果实的生长过程中,AAO 的贡献主要在前中期,这与前人的结论一致[3]。

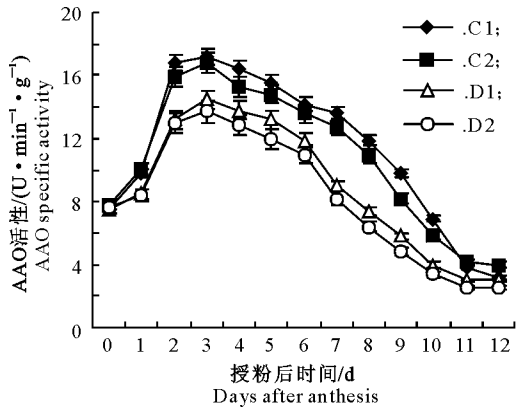


图 5 不同西葫芦品种果实发育过程中 AAO 活性的变化
Fig. 5 Changes of AAO specific activity with fruit growth of different zucchinis varieties

3 讨论

AAO 与植株生长发育密切相关,用不同剂量

本研究还表明,幼叶中 AAO 活性最高,其与叶片生长速度呈正相关,半矮蔓西葫芦不同生长期幼叶中 AAO 活性均高于矮蔓西葫芦,尤其是生育后期,半矮蔓西葫芦 AAO 活性衰减严重,差异显著,说明幼叶的 AAO 活性直接影响了新叶的生长速度,是造成不同品种之间叶片数差异的原因之一。

AAO 是抗坏血酸(ASA)的主要氧化酶,ASA 是植物体中的非酶抗氧化剂,与叶片的抗衰老能力密切相关。本研究表明,半矮蔓西葫芦品种成熟叶片和衰老叶片的 AAO 活性均显著低于矮蔓品种,从而为半矮蔓品种成熟叶片和衰老叶片积累了较高

的 ASA,为其清除体内产生的活性氧等促使叶片衰老的物质起到了重要作用。说明半矮蔓西葫芦品种叶片发育时期 AAO 活性高有利于其快速生长,而成熟和衰老期 AAO 活性低有利于延长叶片寿命。

4 结 论

AAO 活性与西葫芦的生长发育呈正相关,对西葫芦的生长发育及产量形成有促进作用,其贡献主要在前中期。至于西葫芦根、径的生长发育是否与 AAO 活性有关,有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] Sanmartin M, Pateraki I, Chatzopoulou F, et al. Differential expression of the ascorbate oxidase multigene family during fruit development and in response to stress [J]. *Planta*, 2007, 225 (4): 873-888.
- [2] 宫长荣, 宋朝鹏, 张俊, 等. 烘烤条件下烟叶抗坏血酸-谷胱甘肽循环系统的变化 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(10): 185-187.
Gong C R, Song Z P, Zhang J, et al. The changes of ascorbic Acid-Glutathione recycle system in tobacco leaves under different curing conditions [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(10): 185-187. (in Chinese)
- [3] Muneharu E, Kouichi F, Miwa G, et al. Regulation of ascorbate oxidase expression in pumpkin by auxin and copper [J]. *Plant Physiol*, 1992, 100: 231-237.
- [4] Ashraf S Al-Madhoun, Maite S, Angelos K K. Expression of ascorbate oxidase isoenzymes in cucurbits and during development and ripening of melon fruit [J]. *Post Harvest Biology and Technology*, 2003, 27: 137-146.
- [5] Moser O, Kanellis A K. Ascorbate oxidase of *Curcumas melo* L. var. *reticulatus*: purification, characterization and antibody production [J]. *J Exp Bot*, 1994, 45: 717-724.
- [6] Diallynas G, Pateraki I, Sanmartin M, et al. Melon ascorbate oxidase: cloning of a multigene family, induction during fruit development and expression by wounding [J]. *Plant Mol Biol*, 1997, 34: 759-770.
- [7] Lin L S, Varner J E. Expression of ascorbic acid oxidase in Zucchini Squash (*Cucurbita pepo* L.) [J]. *Plant Physiol*, 1991, 96: 159-165.
- [8] 韩富根, 韩锦峰, 许自成, 等. 烤烟叶片多酚氧化酶和抗坏血酸氧化酶比活力影响因素研究 [J]. *河南农业大学学报*, 2004, 38 (4): 432-435.
Han F G, Han J F, Xu Z C, et al. Study on the influencing factors of polyphenol oxidase and ascorbic oxidase activities of flue-cured tobacco leaves [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2004, 38(4): 432-435. (in Chinese)
- [9] 黄卓烈. 2,4-D 对水稻幼苗几种氧化酶比活力的影响 [J]. *广东农业科学*, 1998(4): 7-9.
Huang Z L. 2,4-D effect on activities of several oxidase in rice seedlings [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1998(4): 7-9. (in Chinese)
- [10] 王金胜, 刘喜文. GA 与 2,4-D 对猴头菌丝体纤维素酶和多酚氧化酶活力的影响 [J]. *中国食用菌*, 1994, 13(3): 13-15.
Wang J S, Liu X W. GA and 2,4-D effect on activities of Polyphenol oxidase and cellulase in hyphae of hedgehog hydnum [J]. *Edible Fungi of China*, 1994, 13(3): 13-15. (in Chinese)
- [11] 安华明, 陈力耕, 樊卫国, 等. 刺梨果实中 Vc 积累与相关酶比活力的关系 [J]. *植物生理与分子生物学报*, 2005, 31(4): 431-436.
An H M, Chen L G, Fan W G, et al. Relationship between ascorbic acid accumulation and related enzyme activities in fruit of *Rosa roxburghii* tratt [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2005, 31(4): 431-436. (in Chinese)
- [12] 萧浪涛, 王三根. *植物生理学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [13] Xiao L T, Wang S G. *Plant physiology* [M]. Beijing: China Agricultural Publishing, 1994. (in Chinese)
- [14] Yamamoto A, Bhuiyan M N H, Waditee R, et al. Suppressed expression of the apoplectic ascorbate oxidase gene increases salt tolerance in tobacco and *Arabidopsis* plants [J]. *J Exp Bot*, 2005, 56: 1785-1796.
- [15] 王洪政, 沈振国. 根系抗坏血酸在小麦幼苗铝耐性中的作用 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26(4): 753-758.
Wang H Z, Shen Z G. Role of root ascorbic acid in aluminum tolerance of wheat seedlings [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(4): 753-758. (in Chinese)
- [16] 朱东华, 崔健猛, 薛宝军. 西葫芦新品种冬玉在日光温室越冬茬栽培试验结果 [J]. *甘肃农业科技*, 2003(4): 32-33.
Zhu D H, Cui J M, Xue B J. The yield and agricultural properties of a new variety of vegetable marrow, dongyu, grown during winter time in solar greenhouse [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2003(4): 32-33. (in Chinese)
- [17] 雷逢进, 聂安全, 王晓民, 等. 高产西葫芦新品种长青王 4 号的选育 [J]. *中国瓜菜*, 2008(1): 13-15.
Lei F J, Nie A Q, Wang X M, et al. A new high-yield summer squash F₁ hybrid—Changqingwang No. 4 [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2008(1): 13-15. (in Chinese)
- [18] Oberbacher M F, Vines H M. Spectrophotometer assay of ascorbic acid oxidase [J]. *Nature*, 1963, 197: 1203-1204.
- [19] 李建友, 高兆波, 兰红玲, 等. 西葫芦主要产量相关性状的灰色系统分析 [J]. *中国蔬菜*, 2005(2): 24-25.
Li J Y, Gao Z B, Lan H L, et al. Gray system analysis on main yield related characters of summer squash [J]. *China Vegetables*, 2005(2): 24-25. (in Chinese)
- [19] 白玲玉, 马玉珠, 华路, 等. 低剂量的⁶⁰Co γ 射线辐照对白菜苗期酶比活力及同工酶的影响 [J]. *核农学报*, 1996, 10(1): 21-24.
Bai L Y, Ma Y Z, Hua L, et al. The effects of low-dose ⁶⁰Co-γ rays irradiation on some enzyme activities and isoenzyme zymogram in Pak-Choi seedlings [J]. *Nuclear Agricultural Sciences*, 1996, 10(1): 21-24. (in Chinese)