

不同抗旱性玉米苗期叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应

谷岩¹, 梁焯赫², 王振民¹, 何文安¹, 赵福林¹, 吴春胜^{1*}

(1. 吉林农业大学作物研究中心, 吉林长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 吉林长春 130118)

摘要 [目的] 抗旱性玉米栽培和育种提供理论依据。[方法] 以耐旱品种掖单 13 和不耐旱品种丹玉 13 为试材, 通过盆栽试验研究了水分胁迫对玉米苗期叶片活性氧代谢水平的影响。[结果] 与正常供水处理相比, 水分胁迫下掖单 13 和丹玉 13 苗期叶片 O_2 产生速率分别升高了 28.9%、36.1% (WS 50%) 和 31.3%、41.9% (WS 35%), 叶片 H_2O_2 含量分别升高了 16.1%、25.4% (WS 50%) 和 23.7%、29.8% (WS 35%)。中度水分胁迫下掖单 13 和丹玉 13 的叶片 SOD 和 POD 活性分别比对照提高了 22.8%、29.9% 和 22%、21.7%。与正常供水处理相比, 丹玉 13 和掖单 13 的叶片 MDA 含量分别比对照增加了 22.7%、14.5% (中度胁迫) 和 40.2%、15.6% (重度胁迫)。重度水分胁迫下掖单 13 和丹玉 13 的 AsA 和 GSH 含量分别比对照降低了 12.6%、14.2% 和 33.3%、44.1%。[结论] 抗旱性较强的玉米品种在水分胁迫下维持活性氧代谢平衡的能力较强。

关键词 玉米; 抗旱性; 水分胁迫; 活性氧代谢

中图分类号 S311 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)29-14089-03

Response of Activated Oxygen Metabolism to Water Stress in the Leaves of Different Drought-resistant Corns in Seedling Stage

GU Yan et al (Crops Research Center, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract [Objective] The purpose was to supply theoretical basis for the cultivation and breeding of drought-resistant corn. [Method] With drought-resistant variety Yedan 13 and drought-susceptible variety Danyu 13 as tested materials, the influences of water stress on the activated oxygen metabolism level in corn leaves in seedling stage were studied through potting experiment. [Result] Compared with the treatment with normal water supply, under water stress, the production rate of O_2 in the leaves of Yedan 13 and Danyu 13 were enhanced by 28.9%, 36.1% (WS 50%) and 31.3%, 41.9% (WS 35%) resp. and their contents of H_2O_2 were enhanced by 16.1%, 25.4% (WS 50%) and 23.7%, 29.8% (WS 35%) resp. in seedling stage. Under moderate water stress, the activities of SOD and POD in the leaves of Yedan 13 and Danyu 13 were enhanced by 22.8%, 29.9% and 22%, 21.7% resp. in comparison with CK. Compared with the treatment with normal water supply, the contents of MDA in the leaves of Danyu 13 and Yedan 13 were increased by 22.7%, 14.5% (under moderate stress) and 40.2%, 15.6% (under serious stress) resp. in comparison with CK. Under serious water stress, the contents of AsA and GSH in Yedan 13 and Danyu 13 were decreased by 12.6%, 14.2% and 33.3%, 44.1% resp. in comparison with CK. [Conclusion] The corn variety with stronger drought-resistance had stronger ability on maintaining activated oxygen metabolism balance under water stress.

Key words Corn; Drought-resistance; Water stress; Activated oxygen metabolism

植物在长期进化过程中对逆境形成了一定的适应机制, 活性氧代谢是植物对逆境胁迫的原初反应^[1]。水分胁迫植物增加细胞内活性氧自由基, 导致植物细胞遭受氧化胁迫^[2]。活性氧(AOS)对植物细胞的结构与功能、生物大分子、酶系统、DNA 均有一定的伤害作用^[3]。植物有机体通过酶促(超氧化物歧化酶 SOD、过氧化物酶 POD、过氧化氢酶 CAT、抗坏血酸过氧化物酶 AsP)和非酶促(还原性抗坏血酸 AsA 和谷胱甘肽 GSH 等)两大类保护系统清除植物体活性氧。自从 MoCord 等提出生物自由基伤害学说以来, 各种防御活性氧自由基对细胞膜系统伤害的酶系统在逆境中的作用越来越受到重视^[4-5]。在正常情况下, 植物细胞内活性氧的产生与清除处于动态平衡状态, 不会对植物产生伤害, 但在水分胁迫条件下, 植物需要启动整个防御系统抵抗水分胁迫造成的氧化伤害, 而清除系统中各种保护酶活性的高低就成为控制伤害的决定性因素^[5-6]; 另外, 水分胁迫所积累的大量自由基也会引发或加剧植物细胞膜脂过氧化而产生丙二醛, 造成膜系统的损伤^[7-8]。前人对水分胁迫下玉米活性氧清除酶类已做了大量研究^[4-5, 7-8], 但有关水分胁迫对不同抗旱性玉米苗期叶片活性氧代谢的综合影响还鲜有研究。笔者以 2 种不同抗旱性玉米为试验材料, 研究其叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应, 以期从活性氧代谢生理角度为抗旱

性玉米的栽培生理和育种提供理论依据。

1 材料与试验方法

1.1 材料及试验地概况 供试玉米品种为耐旱品种掖单 13 和不耐旱品种丹玉 13 (已通过抗旱性鉴定)^[9]。

试验土壤为典型黑土, 上等肥力水平。基础肥力为有机质含量 26.900 g/kg, 碱解氮 120.000 mg/kg, 速效磷 16.500 mg/kg, 速效钾 122.000 mg/kg, 全氮 1.645 g/kg, 全磷 0.850 g/kg, pH 值 6.80。

1.2 试验设计 试验于 2008 年 6 月在吉林农业大学作物研究中心试验基地进行。取试验地耕层土壤, 自然风干过 8 mm 筛, 混合均匀, 将土装至底部套有黑色塑料袋的陶盆(70 cm × 90 cm), 每盆装土壤 25 kg, 施入 24 g 复合肥, 作为底肥, 并在玉米大喇叭口期追施 3 g 尿素。播种前浇透水, 在玉米生育期内采用称重法测定土壤相对含水量。试验采用随机区组排列, 每处理重复 6 盆。水分处理参照文献[8], 利用活动式防雨棚遮挡自然降水, 采取实测计算补水量进行人工灌溉。水分胁迫处理(water stress, WS)分别使土壤含水量保持在田间最大持水量的 35% (重度胁迫) 和 50% (中度胁迫), 对照(CK)的土壤含水量保持在田间最大持水量的 75%。2008 年 5 月 4 日开始播种, 播种后正常供水, 3 叶期开始控水处理, 试验过程中在盆上盖一带孔的泡沫板, 最大限度减少水分蒸发。待玉米幼苗达到 6 叶期, 取样测定活性氧代谢过程中的相关指标。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 活性氧测定。 $O_2^{\cdot -}$ 产生速率测定采用羟胺反应

基金项目 国家粮食丰产工程项目(2004BA520A09)。**作者简介** 谷岩(1981-), 女, 吉林榆树人, 博士, 助理研究员, 从事作物生理生态方面研究。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, E-mail: wcs8131587@yahoo.com.cn。**收稿日期** 2009-05-14

法,参照文献[10]。 H_2O_2 含量测定参照文献[11]。

1.3.2 活性氧清除酶活性测定。取0.5 g叶片加入0.062 5 mol/L pH值7.8的磷酸缓冲液(PBS),冰浴研磨后定容至5 ml,15 000 r/min,4 ℃离心20 min,上清液为酶提取液。

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法,以单位时间内抑制光还原50%酶量为1个酶活性单位,用U/(min·g)(FW)表示;过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性测定分别采用愈创木酚法和紫外分光光度法,酶活力均以U/(min·g)(FW)表示^[12];抗坏血酸过氧化物酶(AsP)活性测定参照文献[12]的方法,以每分钟氧化1 μmol抗坏血酸为1个酶活单位,以样品的鲜重计算酶活性。

1.3.3 膜脂过氧化作用。膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法,以μmol/g(FW)表示^[11]。

1.3.4 活性氧清除物质含量测定。抗坏血酸(AsA)含量测定参照文献[13]的方法;谷胱甘肽(GSH)含量测定参照文献[14]的方法。

1.4 数据分析 试验数据采用Microsoft Excel 2003软件进行处理,用SPSS统计软件进行方差分析,平均数采用t检验或Duncan新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对不同耐旱性玉米苗期叶片 O_2^- ·产生速率和 H_2O_2 含量的影响 由表1可知,2个玉米品种叶片 O_2^- ·产生速率和 H_2O_2 含量在水分胁迫处理下均显著升高,但升高的程度因玉米耐旱性不同及水分胁迫程度不同而存在差异。总的来说,耐旱性较弱的品种丹玉13受水分胁迫的影响比耐旱性较强的掖单13要大。掖单13在中度水分胁迫和重度水分胁迫下苗期叶片 O_2^- ·产生速率分别比正常供水处理升高了28.9%和31.3%,叶片 H_2O_2 含量分别比正常供水处理升高了16.1%和23.7%;而丹玉13在中度水分胁迫和重度水分胁迫下苗期叶片 O_2^- ·产生速率分别比正常供水处理升高了36.1%和41.9%,叶片 H_2O_2 含量分别比正常供水处理升高了25.4%和29.8%。

表1 水分胁迫下不同耐旱性玉米苗期叶片 O_2^- ·产生速率和 H_2O_2 含量

Table 1 Generation rate of O_2^- · and H_2O_2 content in the leaves of different drought-tolerant maize varieties under water stress

处理 Treatment	O_2^- ·产生速率 μmol/(min·g)(FW) Generating rate of O_2^- ·		H_2O_2 含量 μmol/g(FW) H_2O_2 content	
	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13
CK	4.64 ± 0.14 a	5.27 ± 0.11 a	143.95 ± 12.76 a	151.26 ± 20.43 a
WS(50%)	5.98 ± 0.11 b	7.14 ± 0.30 b	167.07 ± 10.61 b	189.63 ± 15.23 b
WS(35%)	6.09 ± 0.26 b	7.48 ± 0.18 b	178.12 ± 18.21 c	196.38 ± 20.29 b

注:同列数值后不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。CK:对照;WS:水分胁迫。下同。

Note: Different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. CK, Control; WS, Water stress; The same as below.

2.2 水分胁迫对不同耐旱性玉米苗期叶片活性氧清除系统的影响 超氧化物歧化酶(SOD)是生物体内重要的活性氧清除酶,其主要功能是催化超氧阴离子自由基 O_2^- ·,发生歧化反应生成 H_2O_2 和 O_2 ,保护细胞免受活性氧胁迫的伤

害^[15]。过氧化物酶(POD)也是广泛存在于植物体内的重要抗氧化酶之一。由表2可知,中度水分胁迫下2个玉米品种叶片SOD和POD活性均有所升高,耐旱性强的玉米品种掖单13在中度水分胁迫下叶片SOD和POD活性分别比对照增加了22.8%和29.9%,而丹玉13在中度水分胁迫下SOD、POD活性分别比对照提高了11.7%和21.7%。重度水分胁迫下,耐旱性弱的丹玉13叶片SOD和POD活性均低于对照。

植物组织中高浓度的 H_2O_2 主要靠过氧化氢酶(CAT)清除。CAT分解 H_2O_2 为 O_2 和 H_2O ,抗坏血酸过氧化物酶(AsP)在此过程中发挥重要的作用^[5]。由表3可知,中度水分胁迫下,2个玉米品种叶片CAT和AsP活性均高于正常供水处理,且随着胁迫程度增加,酶活性逐渐降低。抗旱性较弱的丹玉13在重度水分胁迫条件下,叶片AsP活性低于正常供水处理。由此表明,在水分胁迫下,耐旱性较强的玉米品种具有较强的 H_2O_2 清除酶活性,其 H_2O_2 清除能力明显高于耐旱性弱的玉米。

表2 水分胁迫下不同耐旱性玉米苗期叶片SOD和POD活性
Table 2 Superoxide dismutase (SOD) and peroxidase isozyme (POD) activities in the leaves of different drought-tolerant maize varieties under water stress //U/[min·g(FW)]

处理 Treatment	SOD活性 SOD activity		POD活性 POD activity	
	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13
CK	102.38 ± 9.32 a	92.27 ± 6.34 c	16.37 ± 1.89 a	12.70 ± 3.21 a
WS(50%)	125.71 ± 6.01 b	102.48 ± 11.40 b	21.28 ± 2.34 b	14.86 ± 2.57 a
WS(35%)	103.56 ± 11.34 a	88.15 ± 8.19 a	19.93 ± 2.54 b	11.94 ± 1.65 a

表3 水分胁迫下不同耐旱性玉米苗期叶片CAT和AsP活性
Table 3 Catalase isozyme (CAT) and ascorbic acid peroxidase (AsP) activities in the leaves of different drought-tolerant maize varieties under water stress U/[min·g(FW)]

处理 Treatment	CAT活性 SOD activities		AsP活性 POD activities	
	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13
CK	42.98 ± 4.27 a	36.18 ± 3.34 a	12.31 ± 3.41 a	10.69 ± 2.32 a
WS(50%)	51.64 ± 4.63 b	40.57 ± 3.01 b	16.08 ± 2.58 b	13.32 ± 2.94 b
WS(35%)	45.07 ± 5.29 a	39.86 ± 4.05 b	12.37 ± 2.96 a	9.21 ± 1.05 a

2.3 水分胁迫对不同耐旱性玉米叶片丙二醛(MDA)含量的影响 植物组织在水分胁迫下发生膜脂过氧化作用,丙二醛是活性氧启动膜脂过氧化产生伤害的主要产物之一,其含量反应植物遭受水分胁迫伤害的程度^[16]。图1表明,水分胁迫下2个玉米品种叶片MDA积累的变化规律一致,均有所增加,但增加幅度因抗旱性不同而存在差异,其中抗旱性弱的玉米丹玉13在中度水分胁迫和重度水分胁迫下叶片MDA含量分别比对照增加22.7%和40.2%;而掖单13在中度水分胁迫和重度水分胁迫下仅比正常供水增加了14.5%和15.6%。

2.4 水分胁迫对不同玉米品种玉米AsA和GSH含量的影响 由表4可知,水分胁迫下,2个供试玉米品种苗期叶片AsA含量均有不同程度的降低,耐旱性较强的玉米掖单13在中度水分胁迫下叶片AsA和GSH含量降幅较小,与正常

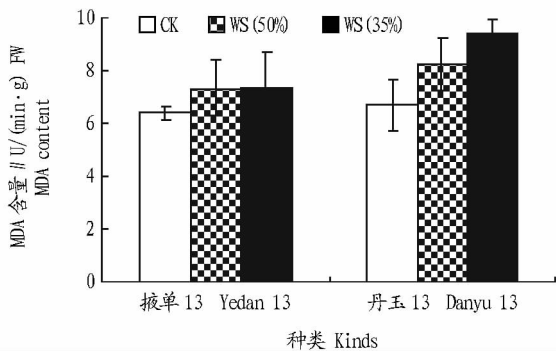


图1 水分胁迫下不同耐旱性玉米叶片丙二醛含量

Fig.1 MDA content in the leaves of different drought-tolerant maize varieties under water stress

供水处理无显著差异,而在重度水分胁迫下 AsA 和 GSH 含量分别对照只降低了 12.6% 和 14.2%;耐旱性较弱的丹玉 13 水分胁迫处理的 AsA 和 GSH 含量均显著下降,在重度水分胁迫下,分别比对照降低了 33.3% 和 44.1%。

表 4 水分胁迫下不同耐旱性玉米苗期叶片 AsA 和 GSH 含量

Table 4 Ascorbic acid and glutathione content in the leaves of different drought-tolerant maize varieties under water stress

处理 Treatment	//mg/g (FW)			
	AsA 含量 AsA content		GSH 含量 GSH content	
	掖单 13 Yedan 13	丹玉 13 Danyu 13	掖单 13 Yedan 13	丹玉 13 Danyu 13
CK	30.20 ± 4.22 a	28.69 ± 3.18 a	4.16 ± 0.98 a	4.08 ± 0.79 a
WS(50%)	29.86 ± 1.99 a	24.02 ± 2.19 b	4.08 ± 0.57 a	3.46 ± 0.43 a
WS(35%)	26.39 ± 1.51 b	19.14 ± 1.22 c	3.57 ± 0.46 b	2.28 ± 0.77 b

3 结论与讨论

在绿色植物中,由逆境导致的氧化胁迫是一种普遍现象。按照自由基理论,正常情况下植物细胞内自由基的产生与清除处于动态平衡状态;在逆境胁迫下,该平衡遭到破坏,自由基产生或积累过多,启动膜脂脱氧化反应,破坏膜结构和膜完整性,使膜差向透性增大,产生离子渗透,细胞代谢紊乱,致使植物受到伤害^[17]。O₂⁻· 是活性氧的主要成员,它既可以启动膜脂过氧化,又可以与 H₂O₂ 通过 Haber-Weiss 反应生成更多的活性氧,加剧膜系统的破坏^[18]。生物通过酶促和非酶促两类系统来清除活性氧。SOD 在活性氧清除系统中具有重要的作用,能催化生物体内分子氧活化的第 1 个中间物—超氧阴离子自由基发生歧化反应,从而减轻 O₂⁻· 对植物的毒害作用。该反应产生的 H₂O₂ 在干旱胁迫下快速积累,可通过各种途径转化为能直接引发膜脂过氧化的活性氧 O₂⁻·。抗坏血酸过氧化物酶 AsP 被认为是叶绿体中清除 H₂O₂ 的酶,CAT 和 POD 均可清除植物体内的 H₂O₂,只有清除细胞内 H₂O₂ 的 CAT、POD 和 AsP 和清除 O₂⁻· 的 SOD 协同作用,才能保证植物细胞的正常机能^[19]。此外,抗坏血酸和谷胱甘肽等抗氧化物质作为膜脂过氧化的非酶体系,在清除活性氧、增强植物对逆境胁迫的抗性方面也有积极的作用^[20]。

该研究结果表明,耐旱性较强的玉米品种在水分胁迫处理下维持活性氧代谢平衡的能力较强,表现为叶片 SOD、POD、CAT 和 AsP 活性升高幅度大。AsA 是植物体内普遍存在的一种活性氧清除剂,能清除 O₂⁻·、O₂¹ 和 H₂O₂,从而抑

制脂质过氧化,而且与防止活性氧抑制 CO₂ 固定有关^[21]。GSH 是植物体内普遍存在的含-SH 的还原性物质,在防御自由基和脂氢过氧化物对膜脂的过氧化过程中具有重要的作用^[22]。水分胁迫下,掖单 13 叶片 AsA 和 GSH 含量的降低幅度均较小,而丹玉 13 正相反。

作物抗性生理的有关研究表明,细胞中各种活性氧清除酶的活性、清除物质及丙二醛的含量变化与作物的抗旱性有关^[23-24]。SOD、POD、CAT、AsP 活性及 AsA、GSH 含量等与作物的耐旱性呈正相关;O₂⁻· 产生速率、H₂O₂ 含量和丙二醛含量与作物的耐旱性呈负相关^[25]。也有研究报道^[4],玉米的种性表现为株体自身整体功能对干旱胁迫有一定的弹性,干旱时可通过株体内一系列生理生化反应,来减轻或分散水分胁迫对细胞代谢的伤害,因而玉米内源保护性物质和保护性酶在受旱后呈现升高的变化。它们在株体内或具有特异性功能或协同作用进行旱害的防御,且在不同株体内的反应能力不同,和品种自身特性密切相关。

前人通过干旱模拟试验,对苗期玉米活性氧清除酶类做了大量研究,有文献报道,各活性氧代谢指标在生育前期受水分胁迫处理影响较小,而在生育后期受水分胁迫处理影响较大,且玉米各材料之间耐旱性的差异表现更为明显。后续试验将进一步研究全生育期内水分胁迫对供试玉米材料叶片活性氧代谢的影响,该试验从活性氧代谢生理角度,为抗旱玉米的栽培和抗逆生理研究提供一定的理论基础和新的思路。

参考文献

- [1] 张木清,陈如凯,余松烈. 水分胁迫下蔗叶活性氧代谢的数学分析[J]. 作物学报,1996,22(6):263-267.
- [2] 张立新,李生秀,氮、钾、甜菜碱对水分胁迫下夏玉米叶片膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J]. 作物学报,2007,33(3):482-490.
- [3] 潘晓华,刘水英,李锋,等. 低磷胁迫对不同水稻品种叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 中国水稻科学,2003,17(1):58-61.
- [4] 孙彩霞,刘志刚,荆艳东. 水分胁迫对玉米叶片关键防御酶系活性及其同工酶的影响[J]. 玉米科学,2003,11(1):63-66.
- [5] BOWLER C, VAN M, INZC D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annu Rev Plant Mol Biol,1992,43:83-116.
- [6] ZHANG J, KIRKHAM M B. Lipid peroxidation in sorghum and sunflower seedlings as affected by ascorbic acid, benzoic acid and propyl gallate[J]. Journal of Plant Physiology,1996,149:489-493.
- [7] 沈秀瑛,徐世昌,戴俊英. 干旱对玉米叶 SOD、CAT 及酸性磷酸酯酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯,1995,31(3):183-186.
- [8] 郑盛平,严昌荣. 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J]. 生态学报,2006,26(4):1138-1143.
- [9] 宋凤斌. 玉米生殖器官早害机理及抗旱应变措施的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,1996.
- [10] 罗广华,王爱国,郭俊彦. 几种外源因子对大豆幼苗 SOD 活性的影响[J]. 植物生理学报,1990,16(3):239-244.
- [11] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998:155-161.
- [12] VELIKOVA V, YORDANOV I, EDEREVA A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean-plants-protective role of exogenous polyamines[J]. Plant Science,2000,151:59-66.
- [13] GOSSETT D R, MILLHOLLON E P, LUCAS M C. Antioxidant response to NaCl stress in salt tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton[J]. Crop Science,1994,34:706-714.
- [14] 於丙军,刘友良. 盐胁迫对一年生盐生野大豆幼苗活性氧代谢的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(1):18-22.
- [15] 王启明. 干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):918-921.
- [16] 许明丽,孙晓燕,文江祁. 水杨酸对水分胁迫下小麦幼苗叶片膜损伤的保护作用[J]. 植物生理学通讯,2000,36(1):35-36.

(下转第 14117 页)

如小分子糖、蛋白质、维生素等,可以被菌丝快速吸收利用,表现出菌丝生长速度快,长势强,外观洁白浓密。

表 2 不同培养基配方对黑木耳菌丝生长的影响及平均数差异显著性比较(SSR 法)

Table 2 The effects of different medium formula on the mycelial growth of *Auricularia auricular* and the difference significance comparison of the mean (SSR method)

配方 Formula	菌丝日均 长度/mm Daily mycelial growth	差异显著性 Difference significance		菌丝长势 Mycelial growth vigor
		5%	1%	
		1(A ₁ × B ₁)	4.40	
2(A ₁ × B ₂)	4.42	d	C	+++
3(A ₁ × B ₃)	4.39	d	C	+++
4(A ₂ × B ₁)	4.50	cd	C	+++
5(A ₂ × B ₂)	4.65	c	C	+++
6(A ₂ × B ₃)	4.93	b	B	+++
7(A ₃ × B ₁)	5.44	a	A	++++
8(A ₃ × B ₂)	5.58	a	A	++++
9(A ₃ × B ₃)	5.60	a	A	++++

注:表中数据为6次重复平均值。下表同。

Note:The data in the table are the average values for six repetitions. The same as below.

(2)用菠萝皮代替蔗糖不仅对黑木耳菌丝生长速度有较明显的影响,而且对出耳产量也有较明显的影响。添加量达到杂木屑的12%时,其产量比较高,生物学效率可达140%以上。

表 3 不同培养基配方对黑木耳产量的影响及产量平均数差异性比较(SSR 法)

Table 3 The effects of different medium formula on the yield of *Auricularia auricular* and the difference significance comparison of the average yield (SSR method)

配方 Formula	3 潮耳产量平 均值/g/袋 Average yield of three flushes	差异显著性 Difference significance		生物学 效率/% Biological efficiency
		5%	1%	
		1(A ₁ × B ₁)	512.33	
2(A ₁ × B ₂)	538.00	c	C	107.6
3(A ₁ × B ₃)	547.33	c	C	109.5
4(A ₂ × B ₁)	570.00	b	B	114.0
5(A ₂ × B ₂)	572.67	b	B	114.5
6(A ₂ × B ₃)	582.67	b	B	116.5
7(A ₃ × B ₁)	703.17	a	A	140.6
8(A ₃ × B ₂)	707.50	a	A	141.5
9(A ₃ × B ₃)	699.33	a	A	139.9

(3)该研究为探索减少菠萝皮对环境污染的影响,减少白糖用量,促进黑木耳产业的可持续发展,提供了一些参考。

参考文献

[1] 叶盛权,吴晖,郭祀远. 菠萝皮干燥工艺研究[J]. 现代食品科技,2007, 23(11):28-29.
 [2] 广东省农业科学院果树研究所. 菠萝及其栽培[M]. 北京:轻工业出版社,1984:10.
 [3] 常明昌. 食用菌栽培[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
 [4] 刘振祥,谭爱华,杨辉德. 食用菌栽培学[M]. 武汉:华中师范大学出版社,2006.

(上接第 14091 页)

[17] 杜秀敏,殷文璇,赵彦修,等. 植物中活性氧的产生及清除机制[J]. 生物工程学报,2001,17(2):121-125.
 [18] HALLIWELL B. The toxic effects of oxygen on plant tissues[M]// OBERLEY LW. Superoxide dismutase, Vol I. Boca Raton, FL: CRC Press,1982:89-123.
 [19] CHANCE B, MAEHLY A C. Assay of catalase and peroxidase[M]// COLOWICK S P, KAPALAN N O. Methods of enzymology, Vol. II. New York:Academic Press,1955:764.
 [20] 高向阳,许志强,徐凤彩. 水分胁迫下钙对大豆叶片膜脂过氧化程度的影响[J]. 华南农业大学学报,1999,20(3):67-71.
 [21] SANCHEZ M, QUEIJEIRO E, REVILLA G, et al. Changes in ascorbic acid levels in apoplastic fluid during growth of pine hypocotyls. Effect on peroxidase activities associated with cell walls[J]. Physiol Plant,1997, 101:815-820.

[22] RUTH G A, JOHN L H. Antioxidants in higher plants[M]. Florida: CRC Press,1993
 [23] BOYER I S. Plant productivity and environment[J]. Science,1982,218: 443-448
 [24] 刘祖琪,张石诚. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994: 101-111.
 [25] 付凤玲,周树峰,潘光堂,等. 玉米耐旱系数的多元回归分析[J]. 作物学报,2003,29(3):468-472.
 [26] CHAI H M, ZHANG W W, CAI H J. Study on the soil moisture stress level in regulated deficit irrigation experiment[J]. Agricultural Science & Technology, 2009,10(2):154-156.
 [27] 李潮海,尹飞,王群. 不同耐旱性玉米杂交种及其亲本叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应[J]. 生态学报,2006,26(6):1912-1919.