

DOI:10.11937/bfyy.201707021

# 生物炭对百合生理特性的影响

朱奕豪, 朱彦霖, 曹 兴, 吕福堂

(聊城大学 农学院, 山东 聊城 252059)

**摘 要:**以东方百合系列的“粉冠军”为试材,采用盆栽试验,研究了不同比例生物炭对百合“粉冠军”花蕾期生理特性的影响,其中CK(生物炭 0 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 200 g·盆<sup>-1</sup>)、C10(生物炭 10 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 190 g·盆<sup>-1</sup>)、C20(生物炭 20 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 180 g·盆<sup>-1</sup>)、C30(生物炭 30 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 170 g·盆<sup>-1</sup>)、C40(生物炭 40 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 160 g·盆<sup>-1</sup>)。结果表明:在蕾期和花期,随着生物炭施用量的增加,根系的过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)等保护酶活性以及可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量均呈先增加后下降趋势,蕾期CAT活性C20处理与C30处理差异不显著,花期POD活性C20处理与C30处理差异不显著,蕾期POD活性C30处理达到最高,其余各指标C20处理含量最高;根系丙二醛(MDA)含量呈现先下降后上升的趋势,C20处理含量最低。随着生物炭施用量的增加,蕾期与花期叶片的叶绿素a与叶绿素b含量,CAT、POD、SOD活性,可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量均呈先增加后下降趋势,蕾期POD活性C40处理与CK差异不显著,花期POD活性C40处理显著低于CK,花期可溶性蛋白质含量C30处理达到最高,其余各项指标均在C20处理达到最高;叶片类胡萝卜素与MDA含量呈现出先下降后上升的趋势,蕾期MDA含量C20处理与C30处理差异不显著,花期各指标C20处理含量最低。在花期,随着生物炭施用量的增加,百合花的CAT、POD、SOD活性以及可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量也呈现出呈先增加后下降的趋势,可溶性蛋白质含量C20处理与C30处理差异不显著,SOD活性在C30处理达到最高,其余各指标均以C20处理含量最高;MDA含量也呈现先下降后上升的趋势,C20处理最低。综上,C20处理的百合长势最好、代谢最高、抗性最强。

**关键词:**生物炭;盆栽百合;蕾期;花期;生理特性

**中图分类号:**S 682.2<sup>+</sup>65 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0092-07

生物炭是生物质在缺氧或微氧条件下经热裂解、炭化而转化成的固体副产物,是一种有机碳含量高、微碱性、比表面积大、吸附能力强的多功能材料。在农作物生产中,我国每年将大量作物秸秆焚烧,不但导致大气污染,增加温室效应,造成环境质量日益恶化,而且极大的浪费资源。如何合理利用农田秸

秆将对治理农村地区污染、改善农村生态环境、促进耕地可持续发展以及保障环境和能源安全均具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。近年来,生物炭相关研究已受到越来越广泛的关注,特别是在环境污染、生态恶化、农业可持续发展和能源短缺等宏观背景下,生物炭的潜在应用价值被进一步开发,以生物炭为核心的秸秆炭化还田技术为秸秆等农林废弃物提供了一条很好的变废为宝的出路。研究表明,生物炭因其含有一定数量的有机质与矿质养分<sup>[3-4]</sup>,在改良土壤方面有着巨大的研究价值;同时由于自身的多孔结构使其具有巨大的比表面积和吸附能力<sup>[5-6]</sup>,可有效增加土壤的保水保肥性能,能为土壤微生物的栖息活动提供良好的环境<sup>[7-10]</sup>。目前生物炭在农业上的应用主要集中于对土壤肥力和大田作物(小麦、玉米等)生长的影响<sup>[11-12]</sup>,对于花卉产业特别是盆栽花卉中施用

**第一作者简介:**朱奕豪(1992-),男,硕士研究生,研究方向为园林生态修复与有害生物防治。E-mail: yihao3344lin@163.com.

**责任作者:**吕福堂(1965-),男,教授,现主要从事植物营养及肥料与环境的教学与科研等工作。E-mail: lvfutang@lccu.edu.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31601788)。

**收稿日期:**2016-12-07

生物炭鲜见报道。因此,该试验以草炭土为基质,采用温室盆栽试验,对施用生物炭后的百合植株根、叶、花等器官的生理特性进行研究,试图探明生物炭对百合生长发育及品质的影响,以期生物炭在园艺推广上的应用奠定理论基础,并为我国花卉产业的更好发展提供重要的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试盆栽基质为草炭土(丹麦进口);供试盆栽百合为“粉冠军”,属东方百合杂种系,种球采购于青州市新利花卉苗木专业合作社,种球直径为 85~100 mm;供试生物炭原料为花生壳,来源于中国海洋大学环境科学国家重点实验室生产。百合种球安全贮存并度过休眠期,挑选大小均匀、生长良好的种球种植在 160 mm×150 mm 花盆中。供试栽培基质及生物炭的基本特性见表 1。

表 1 生物炭及供试基质的基本特性

Table 1 Basic properties of biomass charcoal and tested substrate

基质 Matrix	元素含量 Element content/%		
	N	P	K
生物炭 Biomass charcoal	0.215 1	2.412 6	1.821 8
草炭土 Peat	0.097 1	0.509 5	0.342 8

### 1.2 试验方法

试验于 2016 年 3 月在聊城市农业科学院生物工程中心的连栋温室内进行,设置 5 个处理,即在栽培基质中施用生物炭的量分别为 CK(对照,生物炭 0 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 200 g·盆<sup>-1</sup>)、C10(生物炭 10 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 190 g·盆<sup>-1</sup>)、C20(生物炭 20 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 180 g·盆<sup>-1</sup>)、C30(生物炭 30 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 170 g·盆<sup>-1</sup>)、C40(生物炭 40 g·盆<sup>-1</sup>,草炭土 160 g·盆<sup>-1</sup>),每处理设置 10 盆重复(共 50 盆),株距为 15 cm,行距为 10 cm,栽植深度 8~10 cm,每盆 1 球,在栽植种球时施入生物炭,搅拌使生物炭与草炭土充分混合。2016 年 3 月

16 日栽植,5 月 9 日进入蕾期,6 月 4 日进入开花期,整个生长发育期不施用任何肥料,只在浇水时按比例施入少量肥料配成肥水用于浇灌植株,平均 7 d 浇水一次,定期根除盆内杂草,最大程度上保证植株长势一致,在百合生长发育期间根据温室内的温度、湿度及通风散热时间长短适当调整浇水频次,以满足种球正常生长发育的需要。

### 1.3 项目测定

蕾期与花期叶片叶绿素含量测定采用丙酮法;叶片及根系可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法,过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性测定采用过氧化氢分解法,紫外吸收光,超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT 光还原法),丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法,可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法,脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮显色法。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 软件统计,采用 SPSS 18.0 统计软件对数据显著性差异进行分析( $P<0.05$ , $P<0.01$ ),均以“平均值±标准差”的形式表示各图表中的数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭对百合蕾期生理特性的影响

2.1.1 对根系生理特性的影响 由表 2 可知,在百合蕾期,不同比例生物炭处理下百合植株根系的保护酶(CAT、POD、SOD)活性、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量整体呈先上升后下降趋势,MDA 含量呈先下降后上升趋势。C20 处理下,保护酶(CAT、SOD)活性、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量达到最大;C30 处理下,POD 活性达到最大。除 MDA 含量和 C40 处理下可溶性蛋白质含量低于对照外( $P<0.05$ ),其余均显著高于对照。随着生物炭

表 2 生物炭对百合蕾期根系生理特性的影响

Table 2 Effect of biomass charcoal addition on root physiological characteristics of bud stage of lily

生物炭 Biomass charcoal	过氧化氢酶活性 CAT activity /(mg·g <sup>-1</sup> )	过氧化物酶活性 POD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	超氧化物歧化酶活性 SOD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(μg·g <sup>-1</sup> )	丙二醛含量 MDA content /(μmol·L <sup>-1</sup> )	脯氨酸含量 Proline content /(μg·g <sup>-1</sup> )
CK	65.33±1.45d	163.89±4.19d	77.82±3.25e	2.50±0.03d	0.000 93±0.000 1e	1.63±0.02a	18.69±0.27e
C10	105.78±4.40b	196.11±8.55c	119.86±3.74b	2.78±0.05b	0.001 34±0.000 2c	1.50±0.04b	24.83±0.15d
C20	169.00±8.11a	296.67±15.90b	135.06±2.33a	3.08±0.02a	0.001 54±0.000 1a	1.35±0.02c	50.21±0.25a
C30	161.89±11.00a	330.56±16.44a	96.75±2.65c	2.59±0.01c	0.001 37±0.000 1b	1.44±0.04b	37.42±0.30b
C40	75.44±9.11c	211.11±8.39c	86.52±1.97d	2.26±0.03e	0.001 09±0.000 2d	1.47±0.07b	30.62±0.13c

注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters represent significant difference at 0.05 level, the same below.

施用量的增加,与对照相比,C10、C20、C30、C40 处理下百合植株根系保护酶 CAT 活性分别增加了 61.92%、158.69%、147.80%和 15.48%,POD 活性分别增加了 19.66%、81.02%、101.70%、28.81%,SOD 活性分别增加了 54.02%、73.55%、24.33%、11.18%,可溶性糖含量分别增加了 44.09%、65.59%、47.31%、17.20%,脯氨酸含量分别增加了 32.85%、168.65%、100.21%、63.83%。C10、C20、C30 处理下可溶性蛋白质含量分别增加了 11.20%、23.20%、3.60%,C40 处理下可溶性蛋白质含量降低了 9.60%。C10、C20、C30、C40 MDA 含量分别降低了 7.98%、17.18%、11.66%、9.82%。

2.1.2 对叶片生理特性的影响 由图 1、表 3 可知,在百合蕾期,不同比例生物炭处理百合植株叶片的叶绿素 a、b 含量,保护酶(CAT、POD、SOD)活性,可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量整体呈先上升后下降趋势,类胡萝卜素、MDA 含量呈现先降低后上升趋势。C20 处理下,叶绿素 a、b 含量,保护酶(CAT、POD、SOD)活性以及可溶性蛋白质、可溶性

糖、脯氨酸含量达到最大。除 MDA 含量低于对照以及 C40 处理下叶绿素 b 和类胡萝卜素含量、POD 活性与对照差异不显著外,其余各指标均明显高于对照( $P<0.05$ )。随着生物炭施用量的增加,与对照相比,C10、C20、C30、C40 处理下百合植株叶片叶绿素 a 含量分别增加 8.61%、35.01%、29.54%、7.62%,CAT 活性分别增加 92.18%、144.47%、129.48%、111.90%,SOD 活性分别增加 105.38%、145.00%、100.79%、30.13%,可溶性蛋白质含量分别增加 15.61%、27.07%、24.15%、16.34%,可溶性糖含量分别增加 51.35%、189.19%、129.73%、32.43%,脯氨酸含量分别增加 8.77%、37.22%、17.49%、9.70%。C10、C20、C30 处理下叶绿素 b 含量分别增加 11.82%、18.55%、17.70%,C40 处理降低 11.45%。C10、C20、C30 处理下 POD 活性分别增加 70.12%、103.70%、74.92%,C40 处理降低 0.30%。C10、C20、C30、C40 处理下类胡萝卜素含量分别降低 17.58%、35.38%、29.18%、6.91%,MDA 含量分别降低 26.16%、32.60%、32.39%、16.70%。

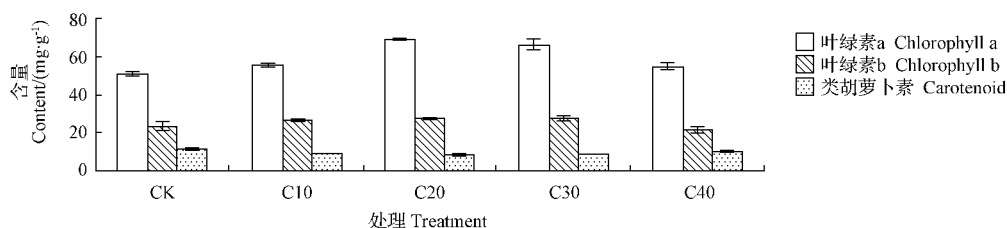


图 1 生物炭对百合蕾期叶片叶绿素含量与类胡萝卜素含量的影响

Fig. 1 Effect of biomass charcoal addition on chlorophyll content and carotenoid content of lily leaves in bud stage

表 3

生物炭对百合蕾期叶片生理特性的影响

Table 3

Effect of biomass charcoal addition on physiological characteristics of leaves of bud stage of lily

生物炭 Biomass charcoal	过氧化氢酶活性 CAT activity /(mg·g <sup>-1</sup> )	过氧化物酶活性 POD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	超氧化物歧化酶活性 SOD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(μg·g <sup>-1</sup> )	丙二醛含量 MDA content /(μmol·L <sup>-1</sup> )	脯氨酸含量 Proline content /(μg·g <sup>-1</sup> )
CK	26.22±3.14d	40.23±8.37d	39.40±5.32e	4.10±0.11d	0.000 74±0.000 03d	4.97±0.63a	18.35±0.49d
C10	50.39±2.53bc	68.44±11.62c	80.92±3.36b	4.74±0.03c	0.001 12±0.000 05c	3.67±0.41c	19.96±0.12c
C20	64.10±0.33a	81.95±6.62a	96.53±3.24a	5.21±0.03a	0.002 14±0.000 03a	3.35±0.36d	25.18±0.37a
C30	60.17±3.45b	70.37±11.28b	79.11±4.11c	5.09±0.06b	0.001 70±0.000 03b	3.36±0.29d	21.56±0.30b
C40	55.56±1.03c	40.11±10.31d	51.27±2.50d	4.77±0.08c	0.000 98±0.000 01c	4.14±0.17b	20.13±0.54c

## 2.2 生物炭对百合花期生理特性的影响

2.2.1 对根系生理特性的影响 由表 4 可知,在百合花期,不同比例生物炭处理百合植株根系的保护酶(CAT、POD、SOD)活性、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量整体呈先上升后下降趋势,MDA 含量呈先下降后上升趋势。C20 处理下,保护酶(CAT、POD、SOD)活性、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量达到最大。除 MDA 含量、C40 处理下脯氨酸含量

明显低于对照以及 C40 处理下保护酶 CAT、SOD 活性与对照差异不显著外( $P<0.05$ ),其余均显著高于对照。随着生物炭施用量的增加,与对照相比,C10、C20、C30、C40 处理下百合植株根系 CAT 活性分别增加了 73.84%、127.11%、45.18%和 3.28%,POD 活性分别增加了 53.95%、76.97%、70.39%、21.06%,SOD 活性分别增加了 32.46%、45.41%、38.64%、4.42%,可溶性蛋白质含量分别增加了

8.94%、38.72%、27.66%、4.26%，可溶性糖含量分别增加了25.68%、93.24%、48.65%、25.68%。C10、C20、C30处理下脯氨酸含量分别增加了33.59%、78.77%、10.10%，C40处理下脯氨酸含量降低了7.42%。MDA含量分别降低了3.47%、11.11%、5.56%、0.69%。

表4 生物炭对百合花期根系生理特性的影响

生物炭	过氧化氢酶活性	过氧化物酶活性	超氧化物歧化酶活性	可溶性蛋白质含量	可溶性糖含量	丙二醛含量	脯氨酸含量
Biomass charcoal	CAT activity /(mg·g <sup>-1</sup> )	POD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	SOD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	Soluble protein content /(mg·g <sup>-1</sup> )	Soluble sugar content /(μg·g <sup>-1</sup> )	MDA content /(μmol·L <sup>-1</sup> )	Proline content /(μg·g <sup>-1</sup> )
CK	71.33±7.77d	168.89±6.94d	91.14±0.86c	2.35±0.03e	0.000 74±0.000 1d	1.44±0.05a	30.99±0.33d
C10	124.00±7.88b	260.00±0.00b	120.72±4.79b	2.56±0.06c	0.000 93±0.000 1c	1.39±0.03ab	41.40±0.46b
C20	162.00±9.71a	298.89±6.94a	132.53±3.00a	3.26±0.03a	0.001 43±0.000 2a	1.28±0.01c	55.40±0.68a
C30	103.56±8.18c	287.78±8.39a	126.36±3.08b	3.00±0.06b	0.001 10±0.000 1b	1.36±0.01b	34.12±0.25c
C40	73.67±4.70d	204.45±7.52c	95.17±2.89c	2.45±0.04d	0.000 93±0.000 2c	1.43±0.04a	28.69±0.47e

2.2.2 对叶片生理特性的影响 由图2、表5可知，在百合花期，不同比例生物炭处理百合植株叶片的叶绿素a、b含量，保护酶(CAT、POD、SOD)活性，可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量整体呈先上升后下降趋势，类胡萝卜素、MDA含量呈先下降后上升趋势。C20处理下，叶绿素a、b含量、保护酶(CAT、POD、SOD)活性、可溶性糖、脯氨酸含量达到最大，C30处理下可溶性蛋白质含量达到最大。除MDA含量、C40处理下POD活性和可溶性糖含量低于对照以及C40处理下叶绿素b含量和C10处理下可溶性糖含量与对照差异不显著外，其余各指标均明显高于对照( $P<0.05$ )。随着生物炭施用量的增加，与对照相比，C10、C20、C30、C40处理下百合植株叶片叶绿素a含量分别增加8.75%、12.95%、7.50%、

7.29%，叶绿素b含量分别增加19.73%、38.09%、21.10%、14.06%，CAT活性分别增加88.89%、206.60%、144.44%、110.29%，SOD活性分别增加90.46%、162.02%、48.72%、20.51%，可溶性蛋白质含量分别增加3.98%、20.40%、37.31%、14.93%，脯氨酸含量分别增加18.95%、106.00%、62.11%、57.94%。C10、C20、C30处理下POD活性分别增加35.93%、113.60%、12.62%，C40处理降低26.21%。C10、C20、C30处理下可溶性糖含量分别增加3.52%、95.07%、47.89%，C40处理降低了4.23%。C10、C20、C30、C40处理下类胡萝卜素含量分别降低了30.81%、46.51%、18.70%、12.55%，MDA含量分别降低了25.24%、49.51%、39.73%、28.96%。

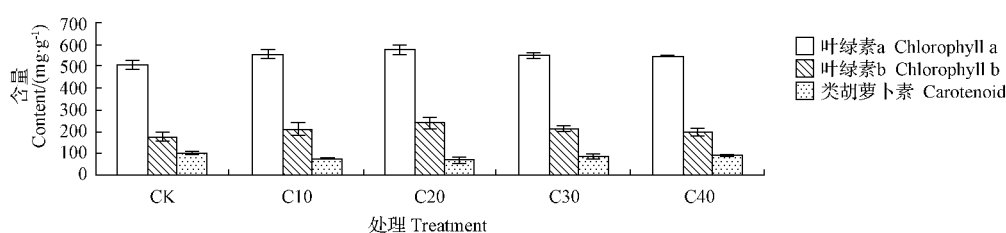


图2 生物炭对百合花期叶片叶绿素含量与类胡萝卜素含量的影响

Fig.2 Effect of biomass charcoal addition on chlorophyll content and carotenoid content of lily leaves in flowering period

表5 生物炭对百合花期叶片生理特性的影响

生物炭	过氧化氢酶活性	过氧化物酶活性	超氧化物歧化酶活性	可溶性蛋白质含量	可溶性糖含量	丙二醛含量	脯氨酸含量
Biomass charcoal	CAT activity /(mg·g <sup>-1</sup> )	POD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	SOD activity /(U·g <sup>-1</sup> )	Soluble protein content /(mg·g <sup>-1</sup> )	Soluble sugar content /(μg·g <sup>-1</sup> )	MDA content /(μmol·L <sup>-1</sup> )	Proline content /(μg·g <sup>-1</sup> )
CK	18.18±0.47e	57.22±3.47bc	51.58±2.94e	4.02±0.01e	0.001 42±0.000 41c	5.11±0.27a	13.67±0.15e
C10	34.34±1.06d	77.78±9.62b	98.24±1.07b	4.18±0.00d	0.001 47±0.000 02c	3.82±0.11b	16.26±0.11d
C20	55.74±0.24a	122.22±19.25a	135.15±1.20a	4.84±0.02b	0.002 77±0.000 01a	2.58±0.43d	28.16±0.24a
C30	44.44±0.15b	64.44±19.25cd	76.71±1.54c	5.52±0.03a	0.002 10±0.000 06b	3.08±0.15c	22.16±0.20b
C40	38.23±0.75c	42.22±9.62d	62.16±1.53d	4.62±0.04c	0.001 36±0.000 01c	3.63±0.06b	21.59±0.40c

2.2.3 对百合花生理特性的影响 由表6可知，在百合花期，不同比例生物炭处理的百合花保护酶

(CAT、POD、SOD)活性，可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量整体呈先上升后下降趋势，MDA含量呈先

下降后上升趋势。C20 处理下, CAT 活性、POD 活性、可溶性蛋白质含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量达到最大, C30 处理下 SOD 活性达到最大。除 MDA 含量低于对照外, 不同浓度生物炭处理下的百合花各项指标与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。随着生物炭施用量的增加, 与对照相比, C10、C20、C30、C40 处理下百合花的 CAT 活性分别增加 31.83%、281.63%、225.35%、108.46%, POD 活性分别增加 65.02%、

134.19%、90.85%、47.51%, SOD 活性分别增加 6.98%、16.68%、29.01%、10.94%, 可溶性蛋白质含量分别增加 11.47%、16.51%、14.22%、6.42%, 可溶性糖含量分别增加 0.74%、47.79%、24.26%、8.82%, 脯氨酸含量分别增加 3.83%、35.99%、20.82%、17.34%。C10、C20、C30、C40 处理下 MDA 含量分别降低 15.01%、44.42%、32.86%、13.39%。

表 6

生物炭对百合花生理特性的影响

Table 6

Effect of biomass charcoal addition on physiological characteristics of flowering of lily

生物炭	过氧化氢酶活性	过氧化物酶活性	超氧化物歧化酶活性	可溶性蛋白质含量	可溶性糖含量	丙二醛含量	脯氨酸含量
Biomass	CAT activity	POD activity	SOD activity	Soluble protein content	Soluble sugar content	MDA content	Proline content
charcoal	/(mg · g <sup>-1</sup> )	/(U · g <sup>-1</sup> )	/(U · g <sup>-1</sup> )	/(mg · g <sup>-1</sup> )	/(μg · g <sup>-1</sup> )	/(μmol · L <sup>-1</sup> )	/(μg · g <sup>-1</sup> )
CK	51.33±5.81e	66.66±5.77d	91.89±3.15d	2.18±0.02d	0.001 36±0.000 02d	4.93±0.21a	31.84±0.76e
C10	67.67±7.37d	110.00±4.41c	98.30±3.58c	2.43±0.05b	0.001 37±0.000 01d	4.19±0.18b	33.06±0.21d
C20	195.89±7.35a	156.11±6.31a	107.22±2.84b	2.54±0.04a	0.002 01±0.000 02a	2.74±0.26d	43.30±0.56a
C30	167.00±6.51b	127.22±7.70b	118.55±3.26a	2.49±0.05a	0.001 69±0.000 02b	3.31±0.48c	38.47±0.56b
C40	107.00±11.41c	98.33±9.28c	101.94±2.78bc	2.32±0.02c	0.001 48±0.000 02c	4.27±0.07b	37.36±0.54c

### 3 讨论与结论

生物炭对植物的效应受其自身性质及肥水管理的制约<sup>[7]</sup>。该试验结果表明, 百合各生理指标以 C20 处理最好, 与对照差异显著; C40 处理则呈现出对百合生长的抑制作用。有研究表明, 生物炭可携带大量的可溶性盐基离子进入土壤溶液中<sup>[13]</sup>, 由于土壤中盐离子浓度过高会影响土壤(基质)的渗透势, 可能会限制植物根系对水分和养分的吸收, 造成植物的生理干旱。在该试验中, 随着生物炭施用量的增加, 导致百合受到的生理干旱程度不同, 使植株的生长发育产生一定的差异, 进而影响百合根、叶、花等器官的生理指标。

生物炭本身含有一定量的有机炭和矿质养分, 施用生物炭可提高基质的 C/N 值, 提高基质对氮素和其它养分的吸持能力<sup>[14-16]</sup>, 因而, 基质中施入少量的生物炭可在一定程度上保证植物对养分的需要, 促进植物的生长发育; 但当生物炭用量过高时, C/N 值也随之升高, 生物炭与植物争夺氮, 加速基质中氮素的固定, 降低基质中氮的有效性, 从而限制植物对氮素营养的吸收<sup>[7]</sup>。该试验中, 除类胡萝卜素含量和 MDA 含量外, 百合在花蕾期和开花期的各项生理指标均表现出先升高后下降的趋势, 各项指标在 C20 处理达到最高, 说明每盆中施用 20 g 生物炭最有利于水分与养分的保持, 最有利于百合的生长和发育。随着生物炭用量的继续增加, 百合的各项生理指标随之下降, 百合根、叶、花等器官的各项生理指标 C40 处理与 CK 相比并未表现出优势, 这可能是由于生

物炭对氮素的截留和基质对氮素的固定导致百合养分供应不足所造成的。由于该试验进行时间较短, 基质中碳素和氮素的固定及转化还需进行深入的研究。

在相同的管理条件下, 叶绿素含量一般随着基质中氮元素含量的增加而递增<sup>[17-18]</sup>, 但在该试验中, 叶绿素 a、b 含量均表现出了先升高后下降的趋势, 这显然与基质中施用生物炭有关, 可能是生物炭用量过多导致基质中用于叶绿素合成的某些关键元素被固定(如 N、Mg 等营养元素), 从而限制了百合叶绿素的合成。

丙二醛是细胞内典型的膜脂过氧化产物, 其反映细胞膜受损害程度<sup>[19]</sup>, 并会破坏叶绿素, 对植物光合作用造成影响<sup>[20-21]</sup>。该试验结果表明, C20 处理的百合植株丙二醛含量最低, 对叶绿素的破坏相对较小, 叶绿素 a 与叶绿素 b 含量最高, 最有利于百合的光合作用。

CAT、SOD、POD 是植物体内重要的保护酶, 起到清除胞内过量活性氧的作用, 三者相互协调, 形成细胞防疫体系<sup>[22]</sup>。该试验结果表明, 在蕾期, 根系的保护酶(CAT、SOD)活性 C20 处理达到最大, POD 活性 C30 处理达到最大; 叶片的保护酶(CAT、SOD、POD)活性均 C20 处理达到最大。在花期, 除百合花 POD 活性 C30 处理达到最大外, 根系、叶片的保护酶(CAT、SOD、POD)活性均 C20 处理达到最大。综合比较可知, C20 处理的百合植株根、叶、花的保护酶活性较高, 机体的自我调节以及对环境的适应能力较高, 抗逆性较强。

随着生物炭施用量的增加,植株各器官的保护酶(CAT、SOD、POD)活性均表现出先升高后降低的趋势。当生物炭用量过大时,保护酶活性降低,原因是由于植株内部氧化物积累到一定程度时,酶活性下降,更为重要的是由于高浓度生物炭引起百合根系细胞的失水,导致酶活性降低,从而也降低了根系的各项生理功能<sup>[23]</sup>。由此可知,施入一定量的生物炭可以诱导保护酶活性的升高,但用量过大就会造成百合植株生理代谢紊乱,最终导致植株受损,各项生理指标下降,影响植株生长发育,进而影响花期、花色,降低品质和观赏价值。

可溶性糖是干旱胁迫诱导的小分子溶质之一,其种类主要包括蔗糖、葡萄糖等。这些可溶性糖类可参与渗透调节,并能在维持植物蛋白质稳定方面起到重要作用<sup>[24-26]</sup>。糖还能够以类似植物激素的方式作为一种信号分子存在,在植物的生长、发育、成熟和衰老等许多过程中发挥调控作用;可抑制营养转移,子叶变绿和子叶伸展;可调控花的转变,并对植物花转变的调控具有多重效应;糖信号还可调控叶片的衰老,表现为叶绿素含量降低、光合速率下降。可溶性糖对植物的抗性、代谢等方面产生影响,一定程度上表征了基质-植物系统 C、N 代谢的状况<sup>[27-28]</sup>。该试验表明,植株各器官的可溶性糖含量 C20 处理达到最高,在一定的环境条件下,该处理下抗干旱胁迫的能力最强,百合可溶性糖含量受生物炭的影响在不同浓度处理间的表现不一,其机理还需进一步深入研究。

总之,植株的各项生理指标是相互联系、相互作用的,受外界环境刺激,一项指标受到影响会导致一系列的指标波动,进而影响植株的生长发育。该试验探讨了生物炭对百合“粉冠军”花蕾期生理指标的影响,对百合乃至其它种类全生育期的影响还需进行更深入更全面的研究。综合比较得知,生物炭对百合植株根、叶、花等器官的生理指标会产生一定影响,但有关其内在机制目前还不清楚,未来研究的重点应放在生物炭与不同养分的互作效应、对基质微生态环境及对花卉生长的影响机制等方面上来。另外,百合在各阶段生长过程中需要大量营养元素,在该试验中,仅通过生物炭与基质混合的方式提供养分是远远不够的,还需要外界营养物质的输入,因此,在以后的生产实践中应合理施用水肥以达到基质养分平衡,进而满足盆栽百合的各阶段生长需要。

#### 参考文献

[1] 翁福军,卢树昌. 生物炭在农业领域应用的研究进展与前景

[J]. 北方园艺,2015(8):199-203.

[2] 李力,刘娅,陆宇超,等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. 环境化学,2011(8):1411-1421.

[3] ABEL S, PETERS A, TRINKS S, et al. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil[J]. *Gedema*, 2013, 202:183-191.

[4] 王浩,焦晓燕,王劲松,等. 不同氮肥水平下生物炭对高粱苗期生长及有关生理特性的影响[J]. 华北农学报,2014,29(6):195-201.

[5] van ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2):235-246.

[6] DUMROESE R K, HEISKANEN J, ENGLUND K, et al. Pelleted biochar: Chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35: 2018-2027.

[7] 黄剑. 生物炭对土壤微生物量及土壤酶的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.

[8] 李亮亮,李天来,臧健,等. 生物炭对加入外源肉桂酸土壤酶活性、微生物结构及土壤养分的影响[J]. 华北农学报,2013,28(3):210-216.

[9] 刘玉学,刘薇,吴伟祥,等. 土壤生物炭环境行为与环境效益[J]. 应用生态学报,2009,20(4):977-982.

[10] 花莉,张成,马宏瑞,等. 秸秆生物炭土地利用的环境效益研究[J]. 生态环境学报,2010,19(10):2489-2492.

[11] 何绪生,耿增超,余雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报,2011(2):1-7.

[12] 陈温福,张伟明,孟军,等. 生物炭应用技术研究[J]. 中国工程科学,2011(2):83-89.

[13] 何绪生,张树清,余雕,等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报,2011,27(15):16-25.

[14] WARNOCK D D, LEHMANN J, KUYPER T W, et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil-concepts and mechanisms[J]. *Plant Soil*, 2007, 300(1-2):9-20.

[15] VAUGHN S F, KENAR J A, THOMPSON A R, et al. Comparison of biochars derived from wood pellets and palletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 51:437-443.

[16] KARRHU K, MATTILA T, BERGSTROM I, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity-term pilot field study[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2011, 140(1-2):309-313.

[17] 郑强,王志敏,蔡永旺,等. 夏玉米叶片叶绿素含量的时空动态及其与植株含氮率关系的研究[J]. 玉米科学,2008,16(6):75-78.

[18] 汤继华,谢慧玲,黄绍敏,等. 缺氮条件下玉米自交系叶绿素含量与光合效率的变化[J]. 华北农学报,2005,20(5):10-12.

[19] 张永峰,殷波. 混合盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 草业学报,2009,18(1):46-50.

[20] 熊璇,于晓英,魏湘萍,等. 遮荫对重瓣大花萱草光合色素含量及生理特性的影响[J]. 湖南农业科学,2009(1):29-32.

[21] 王艺,韦小丽. 不同光照对植物生长、生理化和形态结构影响的研究进展[J]. 山地农业生物学报,2010,29(4):353-359.

[22] 朱晓军,梁永超,杨劲松,等. 钙对盐胁迫下水稻幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 土壤学报,2005,42(3):453-459.

- [23] 张晗芝. 生物炭对土壤肥力、作物生长及养分吸收的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [24] 王以斌, 缪锦来, 姜英辉, 等. 脯氨酸和可溶性糖在南极冰藻低温适应机制中的作用[J]. 生物技术通报, 2016, 32(2): 198-202.
- [25] 胡珍兰, 张海伟, 胡承孝, 等. 铜氮配施对烤烟光合作用及可溶性糖含量的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 199-203.
- [26] 刘长锴, 李彦生, 涂冰洁, 等. 钾肥施用对菜用大豆生殖生长期可溶性糖含量及产量的影响[J]. 大豆科学, 2016, 35(2): 270-274.
- [27] 郑浩. 芦竹生物炭对农业土壤环境的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [28] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 779-785.

## Effects of Biomass Charcoal on Physiological Characteristics of Lily

ZHU Yihao, ZHU Yanlin, CAO Xing, LYU Futang

(College of Agriculture, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059)

**Abstract:** ‘Pink champion’ of lily was used as test material, by using pot experiment to study the responses of physiological characteristics of lily of buds and flowering period to different biomass charcoal addition levels, among which, CK (The each pot of biochar was 0 grams and peat soil was 200 grams), C10 (The each pot of biochar was 10 grams and peat soil was 190 grams), C20 (The each pot of biochar was 20 grams and peat soil was 180 grams), C30 (The each pot of biochar was 30 grams and peat soil was 170 grams), C40 (The each pot of biochar was 40 grams and peat soil was 160 grams). The results showed that the root system of protective enzyme activity (CAT, POD, SOD) and the contents of soluble protein, soluble sugar, proline were first increased and then declined with the increasing biomass charcoal addition on buds and flowering period of lily, the protective enzyme activity (CAT) in C20 and C30 processing had not significant difference on buds stage, the protective enzyme activity (POD) in C20 and C30 processing had not significant difference on flowering period, the protective enzyme activity (CAT) reached the highest in the treatment of C30 on buds stage, the rest of indicators were reached the highest in the C20 processing; the content of MDA was rising after falling trend, C20 processing was the lowest. The leaves of content of chlorophyll a and chlorophyll b, protective enzyme activity (CAT, POD, SOD) and the contents of soluble protein, soluble sugar, proline were first increased and then declined with the increasing biomass charcoal addition on buds and flowering period of lily, the protective enzyme activity (POD) in C40 and CK processing had not significant difference on buds stage, the protective enzyme activity (POD) of C40 was significantly lower than CK on flowering period, the content of soluble protein was reached the highest in C30 processing on flowering period, the rest of indicators were reached the highest in the treatment of C20, the contents of carotenoids and malondialdehyde were rising after falling trend, the content of MDA in C20 and C30 processing had not significant difference on buds stage, the each indexes of flowering period were reached the lowest in C20 processing. In flowering period, the protective enzyme activity (CAT, POD, SOD) and the contents of soluble protein, soluble sugar, proline were first increased and then declined with the increasing biomass charcoal addition, the content of soluble protein of flowers in C20 and C30 processing had not significant difference, the protective enzyme activity (SOD) of flowers was reached the highest in C30 processing, the rest of indicators were reached the highest in C20 processing; the content of MDA was rising after falling trend and C20 processing was the lowest too. To sum up, lily was reached the best growth and metabolism, the strongest resistance.

**Keywords:** biomass charcoal; potted of lily; bud stage; flowering period; physiological characteristics