

文章编号 :1003-8701(2013)06-0071-05

持续干旱对马铃薯叶绿素荧光参数的影响

卢福顺,石 瑛*,王凤义

(东北农业大学,哈尔滨 150030)

摘要:以东农 311、克新 13 和延薯 4 号为试验材料,在抗旱棚内采用盆栽的方式,模拟自然持续干旱,研究马铃薯叶片叶绿素荧光参数随干旱程度的动态变化。结果表明:指标 F_0 、 F_v/F_m 、 $Y(II)$ 、 $Y(NPQ)$ 、 NPQ 和 ETR 的动态变化与土壤水分的变化存在相关性;指标 F_m 、 $Y(NO)$ 和 qP 的动态变化与土壤水分的变化不存在相关性。3 个品种的叶绿素荧光参数的变化存在品种间差异,整个处理过程中对干旱的适应性东农 311> 克新 13> 延薯 4 号,叶绿素荧光可作为抗旱性强弱的诊断指标用于马铃薯抗旱育种及相关研究。

关键词:马铃薯;持续干旱;叶绿素荧光;光合系统 II

中图分类号:S532.01

文献标识码:A

Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters in Leaves of Potato

LU Fu-shun, SHI Ying*, WANG Feng-yi

(Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Pot-cultured potato of three cultivars 'Dongnong 311', 'Kexin 13' and 'Yanshu 4' was used to study the relationship of drought tolerance and chlorophyll fluorescence parameters during water stress in the shed of drought-resistance. The results indicated that F_0 , F_v/F_m , $Y(II)$, $Y(NPQ)$, NPQ , ETR value were correlated to relative soil water content. F_m , $Y(NO)$, qP value were not correlated to relative soil water content. The change of chlorophyll fluorescence parameters was different among three potato cultivars. The drought adaptability of three potato cultivars was 'Dongnong 311' > 'Kexin 13' > 'Yanshu 4' in this study. Chlorophyll fluorescence parameters can be used as index in study of potato's drought resistance.

Keywords: Potato; Drought stress; Chlorophyll fluorescence; Photo-system II

干旱胁迫对植物光合作用存在着多方面的影响,光合电子传递、光合磷酸化、还有光合机构的损伤等,利用叶绿素荧光动力学方法能够快速、灵敏、无损伤地探测水分胁迫对植物光合作用的影响^[1]。叶绿素荧光应用很广泛,能够估计光合系统 II(PSII)的变化、电子传递量、 CO_2 同化等^[2]。目前国内关于叶绿素荧光与作物抗旱性关系的研究中,水稻^[3]、玉米^[4]、大豆^[5]、小麦^[6]、甘蔗^[7]、甘薯^[8]等作物中均已证实水分胁迫的程度和叶绿素荧光参数的变化存在相关性,可以用于抗旱性的鉴定参

考,但研究多基于不同干旱水平与不同处理时间对叶绿素荧光的影响,基于持续自然干旱对叶绿素荧光的影响研究较少。

马铃薯是对水分高度敏感的植物^[9],干旱是马铃薯产量的限制因素之一,严重限制了马铃薯的生产^[10]。在水分胁迫能够导致马铃薯抗旱机理的研究中,关于叶绿素荧光动力学的研究应用尚不广泛。本研究通过测定持续干旱对马铃薯叶片叶绿素荧光参数影响的动态变化,得出对马铃薯叶片叶绿素荧光参数与水分动态变化关系的初步认识,连续观察不同程度水胁迫条件下光合作用过程受损的情况,为马铃薯抗旱育种及相关研究提供参考。

1 材料与与方法

收稿日期:2013-03-27

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-10)

作者简介:卢福顺(1986-),男,在读硕士,作物遗传育种专业。

通讯作者:石 瑛,女,副研究员,E-mail:yshi@neau.edu.cn

1.1 试验材料

供试马铃薯品种 3 个,分别为东农 311,克新 13 和延薯 4 号,试验用种薯均为原种。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方法与处理

试验于 2012 年在东北农业大学香坊植物类实验实习基地马铃薯抗旱棚内进行。采用盆栽试验,盆栽用盆规格为高 27 cm、内径 29 cm,每盆装淋溶黑钙土 10 kg。播种重量为 50g 整薯 1 粒。在试验处理开始前保持土壤相对含水量在 70%~80%之间,于现蕾期开始试验。试验处理开始时测得土壤相对含水量为 73.16%,之后开始控水,每隔 1 d 测量 1 次叶绿素荧光诱导曲线,3 次重复。用称重法测量土壤含水量。马铃薯最适土壤相对含水量为 70%~80%,轻度干旱土壤相对含水量为 60%~70%,中度干旱土壤相对含水量为 40%~60%,重度干旱土壤相对含水量为 30%~40%。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定

在现蕾期选取长势良好植株的第四片复叶测量叶绿素荧光诱导曲线,所有叶绿素荧光参数使用调制式叶绿素荧光仪 JUNIOR-PAM (Walz, Germany)测定,读数使用仪器软件 Wincontrol-3 内置的 induc curve 程序完成,测定使用的光强为 190PAR,其他设置为软件默认,测定前叶片暗处理 30min。

F_0 为初始荧光,是 QA 最大程度被氧化时的叶绿素荧光水平^[2],代表不参与 PSII 光化学反应的光能辐射部分,此时 PSII 反应中心处于完全开

放的状态^[11-12]。

F_m 为最大荧光产量,是 QA 最大程度被减少时的荧光产量^[2],反映通过 PSII 的电子传递情况,PSII 反应中心处于关闭状态^[11-12]。

F_v/F_m 是 PSII 最大光化学量子产量,反映 PSII 反应中心最大的光能转换率^[11-12],反映了植物潜在的最大光合能力^[13]。

$Y(II)$ 是 PSII 中光化学能量转化的有效量子产量^[14]。

$Y(NPQ)$ 是 PSII 调节性能量耗散的量子产额^[14]。

$Y(NO)$ 是 PSII 非调节性能量耗散,是由于 PSII 的关闭,植物以热和荧光形式被动散失的能量比例,属于植物的结构性保护能力^[14]。

NPQ 是非光化学猝灭系数,反映在 PSII 中反应中心对天线色素吸收的过量光能后,将过剩的光能以热量形式耗散的能量比例^[15-16]。

qP 是光化学猝灭系数,指 PSII 中天线色素吸收光能后,将光能用于光合作用电子传递的份额,反映 PSII 反应中心的开放程度的指标^[15-16]。

ETR 是表观电子传递速率,与植物光合速率有很强的线性关系。

1.3 数据处理

使用 EXCEL 2010 进行数据处理和图表制作,方差分析使用 DPS 7.05 数据处理系统进行。

2 结果与分析

2.1 持续干旱对马铃薯叶片 F_0 、 F_m 与 F_v/F_m 的影响

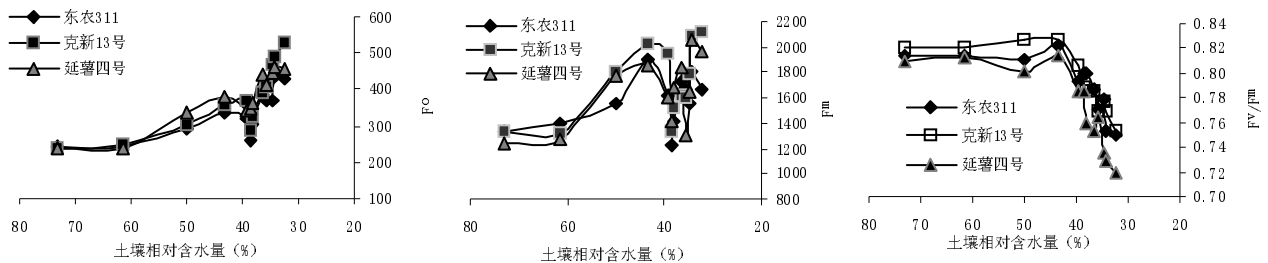


图 1 F_0 、 F_m 和 F_v/F_m 随土壤相对含水量的变化

表 1 F_0 、 F_m 和 F_v/F_m 与土壤相对含水量的回归模型

参数	回归模型	决定系数
F_0	$y_{\text{东农 311}} = 0.186x^2 - 23.349x + 966.37$	$R^2 = 0.6938$
	$y_{\text{克新 13}} = 0.2814x^2 - 35.095x + 1318.3$	$R^2 = 0.7712$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = 0.1403x^2 - 20.233x + 963.83$	$R^2 = 0.8641$
F_m	$y_{\text{东农 311}} = -0.1056x^2 + 3.3486x + 1637.8$	$R^2 = 0.2309$
	$y_{\text{克新 13}} = 0.0059x^2 - 14.006x + 2301.3$	$R^2 = 0.3163$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = -0.0788x^2 - 5.3517x + 2025.8$	$R^2 = 0.3737$
F_v/F_m	$y_{\text{东农 311}} = -0.0001x^2 + 0.0119x + 0.4813$	$R^2 = 0.7747$
	$y_{\text{克新 13}} = -0.0001x^2 + 0.0132x + 0.4515$	$R^2 = 0.8780$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = -0.0001x^2 + 0.0165x + 0.3401$	$R^2 = 0.8492$

注 y 代表叶绿素荧光参数 x 代表土壤相对含水量,下同。

随着干旱处理时间的增加,土壤相对含水量不断下降,初始荧光 F_0 总体呈现增加的趋势。通过回归分析可知,3 个品种 F_0 值的变化同土壤相对含水量的变化存在着极显著水平相关。在整个处理过程中,3 个品种表现 F_0 的增加幅度不同,东农 311 增加 74%,克新 13 增加 120%,延薯 4 号增加了 95.5%。 F_m 在整个处理过程中,呈现出的是一个波动变化的过程。通过回归分析可知,3 个品种 F_m 值的变化同土壤相对含水量的变化不

存在相关性。非胁迫条件下 Fv/Fm 变化极小,不受物种和生长条件的影响,高等植物一般在 0.80 ~ 0.84 之间^[5]。当土壤相对含水量达到 39.46%(重度干旱)时,3 个品种的 Fv/Fm 才表现出差异显著性 (P<0.05)。通过回归分析,3 个品种 Fv/Fm 值的变

化同土壤相对含水量的变化存在极显著相关性。其中,延薯 4 号降幅最大达 11.2%,克新 13 其次为 8.1%,东农 311 最少为 7.9%。

2.2 持续干旱对不同马铃薯叶片 Y(II)、Y(NPQ) 与 Y(NO)的影响

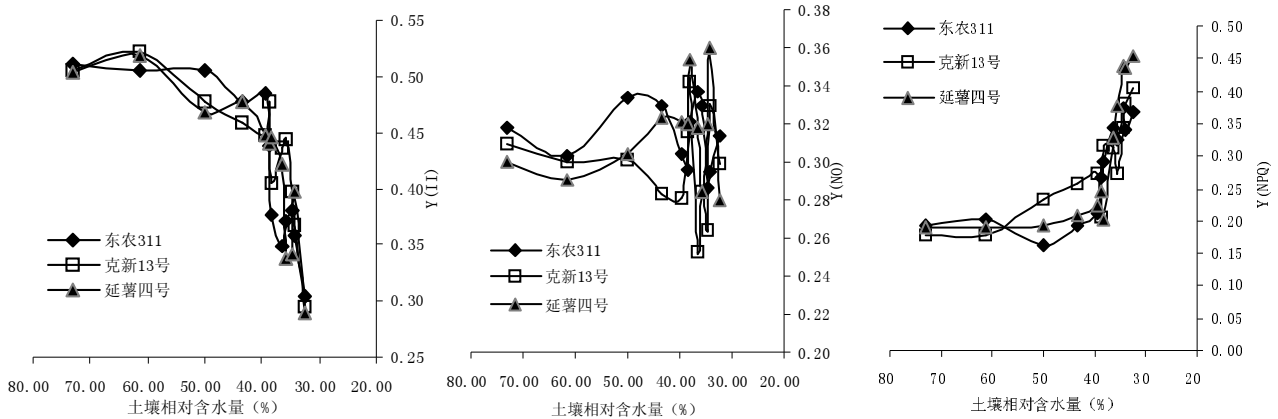


图 2 Y(II)、Y(NPQ)和 Y(NO)随土壤相对含水量的变化

表 2 Y(II)、Y(NPQ)和 Y(NO)与土壤相对含水量的回归模型

参数	回归模型	决定系数
Y(II)	$y_{\text{东农 311}} = -0.000 3x^2 + 0.032 8x - 0.447 1$	$R^2 = 0.838 5$
	$y_{\text{克新 13}} = -0.000 2x^2 + 0.026 1x - 0.255 7$	$R^2 = 0.731 8$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = -0.000 3x^2 + 0.030 7x - 0.389 4$	$R^2 = 0.787 7$
Y(NPQ)	$y_{\text{东农 311}} = 0.000 3x^2 - 0.039 8x + 1.307 4$	$R^2 = 0.843 8$
	$y_{\text{克新 13}} = 0.000 2x^2 - 0.026 9x + 1.011 5$	$R^2 = 0.754 5$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = 0.000 5x^2 - 0.054 1x + 1.691 7$	$R^2 = 0.754 3$
Y(NO)	$y_{\text{东农 311}} = 0.000 2x + 0.306 3$	$R^2 = 0.016 1$
	$y_{\text{克新 13}} = 0.000 3x + 0.282 3$	$R^2 = 0.026 7$
	$y_{\text{延薯 4 号}} = -0.000 6x + 0.341 2$	$R^2 = 0.095 9$

随着干旱时间的增加, Y(II)表现出持续下降的过程。通过回归分析可知,3 个品种 Y(II)值的变化与土壤相对含水量的变化存在极显著相关性。东农 311 在土壤相对含水量达到 43.3%(中度干

旱)时出现显著差异(P<0.05),最后降幅达 40.2%。克新 13 与延薯 4 号在土壤相对含水量达到 49.87%(中度干旱)时出现显著差异(P<0.05),降幅分别为 41.5%和 42.6%。Y(NPQ)呈现出与 Y(II)相反的变化趋势。回归分析显示其值变化同土壤相对含水量存在极显著相关性。东农 311 在土壤相对含水量达 38.55%(重度干旱)时出现显著差异(P<0.05),克新 13 在土壤相对含水量达 43.30%(中度干旱)时出现显著差异(P<0.05),延薯 4 号在土壤相对含水量达 39.46%(重度干旱)时出现显著差异(P<0.05),变化幅度分别为 90.5%、128.1%和 140.7%。3 个品种的 Y(NO)表现出波动变化,幅度介于 0.25 ~ 0.35 之间。通过回归分析, Y(NO)的变化同土壤相对含水量无相关性。

2.3 持续干旱对不同马铃薯叶片 NPQ、qP 与 ETR 的影响

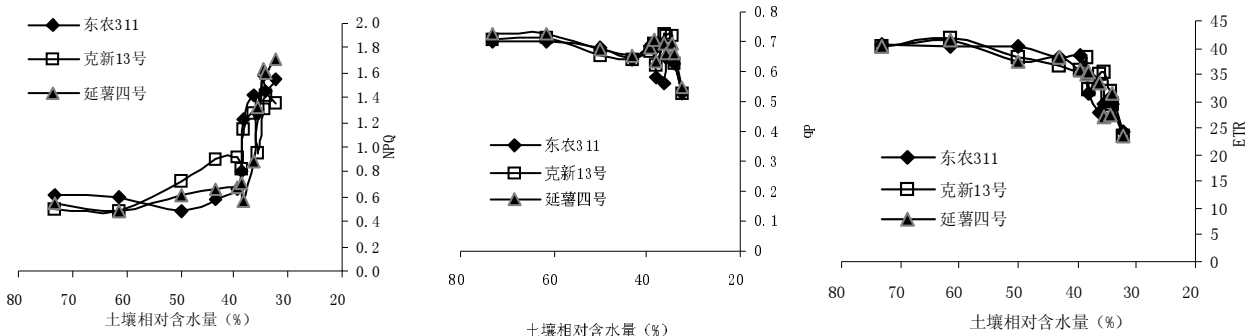


图 3 NPQ、qP 和 ETR 随土壤相对含水量的变化

表3 NPQ、qP 和 ETR 与土壤相对含水量的回归模型

参数	回归模型	决定系数
NPQ	$Y_{\text{东农 311}} = 0.001 9x^2 - 0.219 2x + 6.713 5$	$R^2 = 0.813 4$
	$Y_{\text{克新 13}} = 0.000 8x^2 - 0.109 3x + 4.015$	$R^2 = 0.844 3$
	$Y_{\text{延薯 4号}} = 0.002x^2 - 0.231x + 6.920 3$	$R^2 = 0.699 7$
qP	$Y_{\text{东农 311}} = -0.000 1x^2 + 0.016 1x + 0.201 6$	$R^2 = 0.493 3$
	$Y_{\text{克新 13}} = -5E-05x^2 + 0.006 6x + 0.482 9$	$R^2 = 0.113 3$
	$Y_{\text{延薯 4号}} = -6E-05x^2 + 0.0081x + 0.434$	$R^2 = 0.372 6$
ETR	$Y_{\text{东农 311}} = -0.021 5x^2 + 2.583 2x - 34.496$	$R^2 = 0.836 9$
	$Y_{\text{克新 13}} = -0.017 3x^2 + 2.086 3x - 20.539$	$R^2 = 0.730 8$
	$Y_{\text{延薯 4号}} = -0.020 2x^2 + 2.435 8x - 30.683$	$R^2 = 0.789 8$

非光化学猝灭有两种表达方式(NPQ 或 qN), 马铃薯为无性繁殖作物, 所以 NPQ 能更准确地表达非光化学猝灭的情况^[11-12]。随着处理时间的增加, 3 个品种的 NPQ 呈现增大趋势, 通过回归分析, NPQ 值的变化与土壤相对含水量存在极显著水平相关性。东农 311 在土壤相对含水量达 38.55%(重度干旱)出现显著差异($P < 0.05$), 克新 13 与延薯 4 号在土壤相对含水量达 49.87%(中度干旱)出现显著差异 ($P < 0.05$), 变化幅度为 155.9%、169%和 212.8%。品种之间出现差异性。3 个品种的 qP 均在土壤相对含水量为 49.87%(中度干旱)时出现与前几天的显著差异($P < 0.05$), 并在之后呈现波动变化, 但其变化与土壤相对含水量并无显著相关性。ETR 表现出持续下降的过程, 其值变化与土壤相对含水量存在极显著相关性。东农 311 在土壤相对含水量达 43.3%(中度干旱)时出现显著差异($P < 0.05$), 克新 13 与延薯 4 号在土壤相对含水量达 49.87%(中度干旱)时出现显著差异($P < 0.05$), 变化幅度分别为 40.3%、41.6%和 42%。

3 讨论与结论

本研究中, 指标 Fm、Y(NO)和 qP 在干旱处理时表现出了动态的变化, 但这种变化与土壤水分的变化不存在显著相关性。指标 Fo、Fv/Fm、Y(II)、Y (NPQ)、NPQ 和 ETR 在干旱处理时表现出动态变化与土壤水分变化的相关性。3 个品种的 Fv/Fm 在达到重度干旱情况时出现显著差异, 与 Basu 等^[17]的马铃薯在重度干旱下 Fv/Fm 才会表现出显著性差异一致, 与 Jefferies 等^[18]的干旱胁迫对马铃薯 Fv/Fm 无影响表现不同。在整个处理过程中, 通过各个指标的变化幅度的差异表现, 东农 311 的各个指标表现出较小的变化幅度, 展现

出对干旱处理存在着较强的适应性, 其次为克新 13, 最后是延薯 4 号。

综合来看, 在马铃薯的干旱研究中, 当土壤相对含水量达到 60%以下时应用叶绿素荧光, 其中达到中度干旱水平时可以考虑应用 Y(II)、Y (NPQ)、NPQ 和 ETR, 当达到重度干旱时应结合参数 Fv/Fm。由于本研究使用的仪器测量端的系统误差不能够十分精确地表示 Fo 和 Fm 的变化情况, 所以针对 Fo 和 Fm 的变化情况应在今后的研究中给予补充。

已有的研究中, 多数为不同梯度的干旱处理并处理一段时间后对叶绿素荧光参数的影响, 在本研究中, 若是取几个不同干旱程度的点, 也可以得出已有研究中干旱程度导致各个参数的变化, 但是在本研究的动态变化中 qP 并不符合回归相关性的规律。同时, 本研究中由于使用盆栽处理, 导致前期水分散失过快, 在最适水分、轻度干旱和中度干旱的动态变化研究的取样点偏少, 不能详尽的分析, 只能展现出随着干旱水平的增加, 导致叶片叶绿素荧光的变化程度, 不能像叶绿素荧光快速动力学曲线那样通过拟合反映出光合结构的伤害程度, 在今后的研究中予以补充。

参考文献:

- [1] 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对小麦叶绿素 a 荧光诱导动力学的影响[J]. 生物物理学报, 1993, 9(3): 453-457.
- [2] Baker Neil R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008(59): 89-113.
- [3] 史正军, 樊小林. 干旱胁迫对不同基因型水稻光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 123-126.
- [4] 张仁和, 马国胜, 柴海, 等. 干旱胁迫对玉米苗期叶绿素荧光参数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 170-176.
- [5] 孙海峰, 战勇, 林海容, 等. 花期干旱对不同基因型大豆叶绿素荧光特性的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 56-60.
- [6] 杨晓青, 张岁岐, 梁宗锁, 等. 水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 812-816.
- [7] 罗俊, 张木清, 林彦铨, 等. 甘蔗苗期叶绿素荧光参数与抗旱性关系研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1718-1721.
- [8] 张云华, 王荣富, 阮龙, 等. 水分胁迫对甘薯叶绿素荧光和光合特性的影响[J]. 植物生理科学, 2005, 21(8): 208-210.
- [9] Sukumaran NP, Ezekiel R, Perumal NK. Response of net photosynthetic rate and stomatal conductance to water deficit in different potato cultivars [J]. Photosynthetica, 1989(23): 664-666.
- [10] 徐建飞, 刘杰, 卞春松, 等. 马铃薯资源抗旱性鉴定和筛选[J]. 中国马铃薯, 2011, 1(25): 1-6.
- [11] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.

- [12] 陈建明, 余晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51-55.
- [13] Sarijeva G, Knapp M, Lichtenthaler H K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(7): 950-955.
- [14] Klughammer C, Schreiber U. Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method [J]. PAM Application Notes, 2008(1): 27-35. <http://walz.asia/downloads/pan/PAN078007.pdf>
- [15] 钱永强, 周晓星, 韩 蕾, 等. Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PSII 叶绿素荧光光响应曲线的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6134-6142.
- [16] 韩 炜, 徐新文, 李 利, 等. 白榆(*Ulmus pumila* L.) 光驯化后的快速光曲线变化特征 [J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 738-744.
- [17] Basu P. S, Sharma Ashoo, Sukumaran N. P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress[J]. Photosynthetica, 1998, 35(1): 13-19.
- [18] Jefferies R. A. Effect of drought on chlorophyll fluorescence in potato. I. Plant water status and the kinetics of chlorophyll fluorescence[J]. Potato Research, 1992(35): 25-34.

(上接第 13 页)

- [2] 苏培玺, 杜明武, 张立新, 等. 日光温室草莓光合特性及对 CO₂ 加富的响应[J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 423-426.
- [3] 林伟宏. 植物光合作用对大气 CO₂ 升高的反应 [J]. 生态学报, 1998, 18(5): 529-538.
- [4] Sun J D, Kelly M. Gibson, et al. Interactions of nitrate and CO₂ enrichment on growth, carbohydrates, and rubisco in Arabidopsis starch mutants. Significance of starch and hexose[J]. Plant Physiology, 2002(130): 1573-1583.
- [5] 惠俊爱, 李永华, 李 卓, 等. 高浓度 CO₂ 对紫星凤梨光合作用和生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1027-1032.
- [6] 惠俊爱, 叶庆生. 高浓度二氧化碳处理后凤梨光合作用的恢复[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1003-1008.
- [7] 王精明, 李永华, 黄胜琴, 等. CO₂ 加富对凤梨叶片生长和光合特性的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(6): 511-514.
- [8] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 88-92, 169-170.
- [9] 徐昌杰, 陈文峻, 陈昆松, 等. 淀粉含量测定的一种简便方法—碘显色法[J]. 生物技术, 1998, 8(2): 41-43.
- [10] 叶庆生, 潘瑞焜, 丘才新. 墨兰光合途径的研究[J]. 植物学报, 1993, 35(6): 441-446.
- [11] 张其德, 卢从明, 冯丽洁, 等. CO₂ 加富对紫花苜蓿光合作用原初光能转换的影响[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 77-82.
- [12] Hugo H R, Brett R G and Sagar V K. Plant response to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere[J]. Environmental Pollution, 1994(83): 155-189.

(上接第 65 页) 筛选出的菌株均来自土壤, 对于后续菌株的定殖研究提供了便利的条件, 且具有很好的研究开发前景。

参考文献:

- [1] 程惠珍, 陈 君, 丁万隆. 中药材生产中的植保问题及对策 [J]. 中药材, 2001, 24(1): 11-13.
- [2] 谢文艳. 药用植物病虫害防治存在问题及对策 [J]. 陕西农业科学, 2009(4): 108-109.
- [3] 梁建根, 施跃峰, 竺利红. 生物防治在植物病虫害防治中存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2008(19): 173.
- [4] 龙汉广. 生物防治在植物病虫害防治中存在的问题及对策 [J]. 农业与技术, 2013, 33(2): 36.
- [5] 郝慧荣, 李振方, 熊 君, 等. 连作怀牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 307-311.
- [6] 齐艳春. 甜叶菊斑枯病生物防治拮抗菌株的筛选[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 65-68.
- [7] 张鸿雁, 薛泉宏. 人参连作障碍防治研究进展[J]. 江西农业学报, 2010, 22(6): 68-71.
- [8] 邱德文. 我国植物病害生物防治的现状与发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 15-18.
- [9] 陈新春, 张喜喜, 汪钱龙, 等. 蔬菜根际细菌 R2-2 的鉴定及其抑菌活性 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2012, 38(2): 177-180.
- [10] 谢永丽, 马莉贞, 徐志伟, 等. 青海柴达木极端干旱沙地分离芽孢杆菌的分子鉴定及拮抗活性分析 [J]. 微生物学通报, 2012, 39(8): 1079-1086.