

高温胁迫对不同熟期马铃薯品种幼苗 部分生理指标的影响

刘长远^{1,2}, 李光达¹, 万丽嫱^{1,2}, 成京晋^{1,2}, 耿仕娴², 海梅荣^{1,2**}

(1. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南农业大学, 西南中药材种质创新与利用国家地方联合工程研究中心, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】研究马铃薯的耐热机制, 为耐热和不耐热的马铃薯品种筛选做参考。【方法】测量高温胁迫下云南本地 3 个不同熟期马铃薯品种[云薯901(早熟)、云薯305(中晚熟)、合作88(晚熟)]的表型、部分生理指标和保护酶含量。【结果】高温胁迫对马铃薯幼苗的生长表型、SOD 活性、POD 活性和 MDA 含量都有影响。云薯901 的生长表型优于其他品种; 在 37 ℃ 条件下, 云薯901 的 SOD 活性随胁迫时间的延长总体呈下降趋势, 而其他品种总体均呈先升高后降低的变化趋势; 在 30 ℃ 条件下, 云薯901 的 POD 活性随着胁迫时间的延长总体呈下降趋势, 而其他品种总体呈升高的趋势; 在 23 和 30 ℃ 条件下, 云薯901 的 MDA 含量在第 5 天时明显减少, 而其他品种并无该现象。这些结果说明早熟品种云薯901 的耐热表现优于其他熟期较晚的品种。【结论】持续的高温胁迫影响马铃薯幼苗的生长表型、抗氧化酶活性和膜质, 且熟期较晚的品种受到的影响较大, 熟期可能是筛选耐热性马铃薯品种的因素之一。

关键词: 高温胁迫; 马铃薯; 保护酶; 不同熟期; 耐热性

中图分类号: S 532.01

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2020) 04-0596-05

Effect of High Temperature Stress on Some Physiological Indexes of Potato Seedlings with Different Maturity

LIU Changyuan^{1,2}, LI Guangda¹, WAN Liqiang^{1,2}, CHENG Jingjin^{1,2},
GENG Shixian², HAI Meirong^{1,2}

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. National-Local Joint Engineering Research Center on Germplasm Innovation & Utilization of
Chinese Medicinal Materials in Southwest China, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To study the heat-resistant mechanism of potato and provide reference for the selection of heat-resistant varieties. [Method] Under high temperature stress, the phenotypes, some physiological indexes and protective enzyme contents of three potato varieties [Yunshu901 (early maturing), Yunshu305 (middle late maturing), Hezuo88 (late maturing)] were measured. [Result] The growth phenotype, SOD activity, POD activity and MDA content of potato seedlings were affected by high temperature stress. The growth phenotype of Yunshu901 was better than that of other varieties; at 37 ℃, the SOD activity of Yunshu901 showed a downward trend with the increase of stress time, while the other varieties showed an increase and then decreased; at 30 ℃, the POD activ-

收稿日期: 2019-09-23

修回日期: 2020-04-21

网络首发时间: 2020-07-30 11:05:31

作者简介: 刘长远 (1995—), 男, 黑龙江大庆人, 在读硕士研究生, 主要从事马铃薯高温胁迫研究。

E-mail: 792675239@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 海梅荣 (1973—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 教授, 主要从事作物生理研究。E-mail: 2250029499@qq.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20200729.1109.002.html>



ity of Yunshu901 showed a downward trend with the increase of stress time, and other varieties showed an upward trend; at 23 °C and 30 °C, the MDA content of Yunshu901 decreased significantly at 5th day, while other varieties did not appear. These results showed that the heat resistance performance of Yunshu901 was better than that of other varieties with later maturity. [**Conclusion**] Continuous high temperature stress affected the growth phenotype, antioxidant enzyme activity and membrane quality of potato seedlings, and the later maturing varieties were greatly affected. The maturing period may be one of the factors for selecting heat-resistant potato varieties.

Keywords: high temperature stress; potato; protective enzymes; different maturity; heat resistance

全球平均温度的上升使许多农作物受到了严重的影响, 其中高温胁迫会引起植株生理生态上的变化, 也会引发病害或者是干旱导致作物产量降低^[1-3]。马铃薯是第四大作物, 在人们的生活中必不可少, 很多国家以马铃薯为主食。但马铃薯喜凉, 高温会通过多种方式来影响其生理生化过程, 导致其产量降低^[4-7]。目前关于植物耐高温的研究很多^[8-10], 但对于云南本地马铃薯品种高温胁迫的研究还很少。已有耐热马铃薯品种的筛选研究发现: 耐热的品种大部分是早熟品种^[11]。本研究根据昆明本地马铃薯品种的实际情况, 选择3个不同熟期的马铃薯品种进行高温胁迫试验, 通过模拟高温胁迫^[12-14], 研究不同熟期的马铃薯品种幼苗的部分生理指标的变化, 将有助于进一步理解高温逆境对马铃薯幼苗生长发育的影响, 并作为筛选马铃薯耐热品种的参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

云南本地马铃薯品种云薯901、云薯305 和合作88 均由昆明云薯农业科技有限公司会泽基地提供; 其中, 云薯901 为早熟品种, 云薯305 为中晚熟品种, 合作88 为晚熟品种。

1.2 试验设计

马铃薯块茎切块, 每个薯块质量控制在约 50 g, 将 $V_{\text{草炭土}} : V_{\text{蛭石}} = 2 : 1$ 加水拌匀, 装到盆中备用。先用 0.1% 高锰酸钾溶液对水果刀消毒 10 min, 用水果刀将马铃薯种薯芽眼切除出来, 后放入 0.1% 高锰酸钾溶液中消毒 10 min; 将已消毒的马铃薯芽眼朝下栽培到盆中, 在上面覆盖已配制好的土壤, 覆盖的土壤不宜太厚, 每盆种植 1 株; 最后将已种植马铃薯的盆放在托盘上, 在自然温

光条件下室温培养至株高约 15 cm, 选择生长相对一致的幼苗移至人工气候箱, 调节光照强度为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 空气湿度为 75%, 设置 3 个温度 (光照/黑暗) 处理: 以 23/15 °C 作为对照, 30/22 °C 和 37/29 °C 作为高温处理, 每个处理设置 15 株幼苗, 光周期为 16 h 光照和 8 h 黑暗。

1.3 生理指标测定

以 0、1、3、5 和 7 d 为取样时间点, 每个温度同一时间点取 3 株幼苗, 每株取第 3 叶位展开且生长相对一致的功能叶 2 片, 为减少试验误差, 将叶片去掉叶脉并剪碎混样, 立即使用液氮充分冷冻。采用苏州格锐思生物技术有限公司生理指标检测试剂盒测定超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化酶 (POD) 活性以及丙二醛 (MDA) 含量。取样前拍摄照片并记录植株生长状况。所有试验进行 3 次重复。

1.4 数据处理

数据采用 WPS Excel 和 SPSS 19.0 统计分析软件进行处理, 分析不同熟期的马铃薯在高温胁迫下生理指标的差异。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下不同熟期马铃薯幼苗长势的变化

由图 1 可知: 23 °C 条件下, 云薯901、云薯305 和合作88 并没有明显的差异, 长势都很旺盛; 30 °C 条件下, 云薯901 并没有受到明显的影响, 云薯305 表现为叶子卷曲和发黄, 合作88 则受到明显的伤害, 大面积的发黄和末端有干枯的迹象; 37 °C 条件下, 云薯901 的叶片少许发黄且暗淡, 云薯305 的部分叶片缩小甚至干枯发黄, 而合作88 的植株已经枯萎, 濒临死亡的状态。故从马铃薯幼苗长势变化可知: 在高温胁迫下早熟品种云薯901 的长势优于其他熟期品种。



图 1 高温胁迫下不同熟期的马铃薯幼苗的长势变化

Fig. 1 Growth changes of potato seedlings with different maturity under high temperature stress

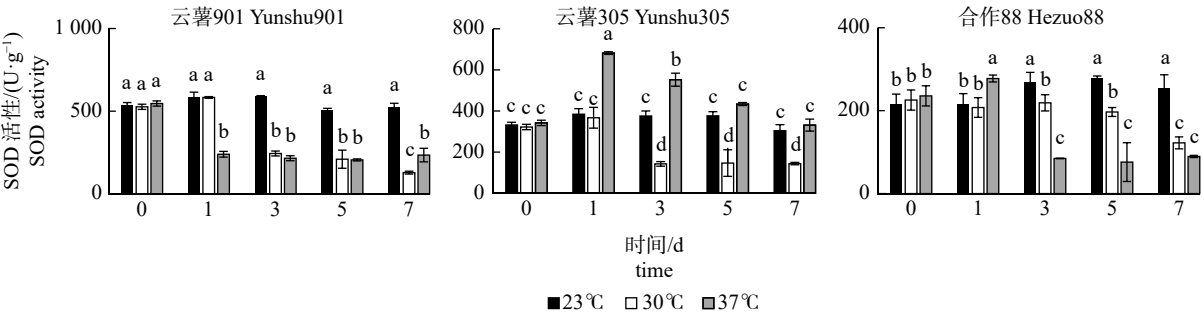
2.2 高温胁迫下不同熟期马铃薯幼苗叶片的 SOD 活性

由图 2 可知：23 °C 条件下，云薯901 和云薯305 的 SOD 活性比较平稳，但合作88 的 SOD 活性在第 3 天显著上升，可能持续的 23 °C 处理对合作88 仍有较弱的伤害；30 °C 条件下，随着胁迫时间的延长，3 个品种的 SOD 活性均呈下降趋势；37 °C 条件下，云薯305 和合作88 的 SOD 活性均

性则总体呈下降趋势。SOD 活性突然升高说明植物的生长状态并不良好，故从 SOD 活性的变化可知：高温胁迫对早熟品种云薯901 的影响较小。

2.3 高温胁迫下不同熟期马铃薯幼苗叶片的 POD 活性

由图 3 可知：23 °C 条件下，所有品种的 POD 活性均较平稳；30 °C 条件下，云薯305 和合作88 的 POD 活性总体呈上升趋势，云薯901 则总体呈下降趋势；37 °C 条件下，所有品种的 POD



注：不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$); the same as below.

图 2 高温胁迫下马铃薯幼苗叶片的 SOD 活性

Fig. 2 SOD activity of potato seedlings under high temperature stress

活性均在第1天显著升高,随着胁迫时间的延长又开始呈下降趋势。POD活性通常在老化的组织中较高,故从POD活性的变化可知:高温可影响马铃薯幼苗叶片的POD活性,但对早熟品种云薯901的影响较小。

2.4 高温胁迫下不同熟期马铃薯幼苗叶片的MDA含量

由图4可知:23℃条件下,云薯901和云薯305的MDA含量有上升的趋势,但云薯901的MDA含量在第5天明显减少,合作88的MDA含量表

现得较为平稳;30℃条件下,云薯901的MDA含量总体呈上升趋势,但同样在第5天明显减少,云薯305和合作88总体呈上升的趋势;37℃条件下,随着胁迫时间的延长,所有品种的MDA含量均总体呈上升趋势。MDA含量越高表明植物的质膜过氧化程度高,植株受到损伤,故从MDA含量的变化可知:高温会影响马铃薯幼苗叶片的MDA含量,但对熟期较早的云薯901的影响较小。

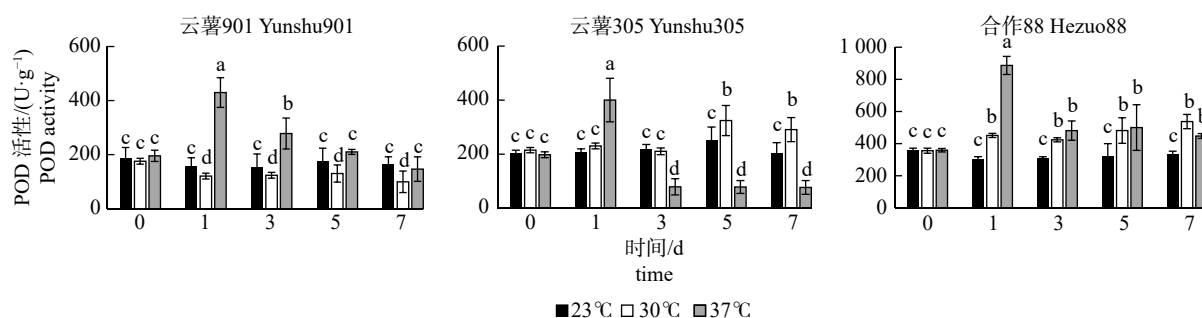


图3 高温胁迫下马铃薯幼苗叶片的POD活性

Fig. 3 POD activity of potato seedlings under high temperature stress

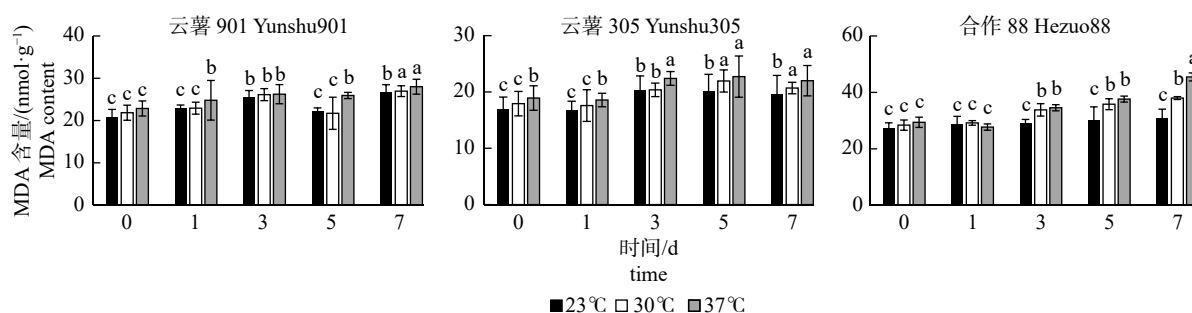


图4 高温胁迫下马铃薯幼苗叶片的MDA含量

Fig. 4 MDA content of potato seedlings under high temperature stress

3 讨论

高温胁迫对马铃薯幼苗生长与生理都造成一定程度的影响,生长萎蔫、叶片生长缓慢,同时加剧植株水分丧失,导致叶片卷缩,甚至出现损伤。研究表明:高温环境中植物会累积活性氧,植株通过调节体内SOD和POD等清除活性氧的酶来提高耐热性^[15-16]。戴鸣凯等^[17]研究显示:35和39℃高温处理后的闽薯1号植株生长缓慢,叶片萎蔫,22℃常温处理下的植株生长良好,认为马铃薯幼苗体内活性氧的积累和膜质氧化加剧可能是导致马铃薯高温伤害的原因之一,

这与本研究的结果一致。本研究中,30℃条件下云薯901、云薯305和合作88的SOD活性总体均呈下降趋势,在白菜幼苗和大白菜上的研究^[18-19]也发现了同样的规律。POD能还原H₂O₂,以延缓植物衰老,POD活性升高说明植物受到的伤害较大,故产生过多的酶以延缓衰老。37℃条件下,本研究所有品种的POD活性均先升高后下降,这与叶凡等^[20]在不结球白菜上的研究一致。MDA是膜质过氧化的产物,其含量越高表明植物膜脂过氧化越剧烈。植物的膜伤害是高温伤害的本质之一^[21-23],而在高温处理下,大多数植物的MDA含量均呈增加趋势^[24-26],与本研究结果

一致。本研究在 23 和 30 ℃ 条件下, 云薯901 的 MDA 含量在第 5 天有恢复适应的状态, 而在 37 ℃ 下所有品种的 MDA 含量均呈上升趋势, 这与蒋瑶等^[27]研究野生湖北百合得出 MDA 含量与高温胁迫正相关的结论一致。

[参考文献]

- [1] 吴永波, 叶波. 高温干旱复合胁迫对构树幼苗抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(2): 403. DOI: [10.5846/stxb201409201862](https://doi.org/10.5846/stxb201409201862).
- [2] 徐萍, 李进, 吕海英, 等. 干旱胁迫对银沙槐幼苗叶绿体和线粒体超微结构及膜脂过氧化的影响[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 120. DOI: [10.13866/j.azr.2016.01.15](https://doi.org/10.13866/j.azr.2016.01.15).
- [3] ANNE H, TOBIAS V, KATRIN V, et al. Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas[J]. Ecological Modelling, 2009, 220(17): 2076. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2009.04.038](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.038).
- [4] 黄磊, 姜国斌, 朱玉, 等. 高温对北高丛蓝莓叶片气体交换及叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(4): 871. DOI: [10.13292/j.1000-4890.201604.022](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.201604.022).
- [5] 张哲, 闵红梅, 夏关均, 等. 高温胁迫对植物生理影响研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8338. DOI: [10.13989/j.cnki.0517-6611.2010.16.040](https://doi.org/10.13989/j.cnki.0517-6611.2010.16.040).
- [6] 孙永江, 付艳东, 杜远鹏, 等. 不同温度/光照组合对‘赤霞珠’葡萄叶片光系统 II 功能的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1191. DOI: [10.3864/j.issn.0578-1752.2013.06.012](https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2013.06.012).
- [7] 张显强, 罗在柒, 唐金刚, 等. 高温和干旱胁迫对鳞叶藓游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响[J]. 广西植物, 2004(6): 570. DOI: [10.3969/j.issn.1000-3142.2004.06.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3142.2004.06.019).
- [8] 商侃侃, 张德顺, 王铖. 高温胁迫下植物抗性生理研究进展[J]. 园林科技, 2008(1): 1.
- [9] 田婷婷, 张兴国, 周小全, 等. 高温胁迫对之豇 28-2 幼苗叶片细胞膜透性和保护酶活性的影响[J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2008, 33(3): 73. DOI: [10.13718/j.cnki.xsxb.2008.03.023](https://doi.org/10.13718/j.cnki.xsxb.2008.03.023).
- [10] CHAITANYA K V, SUNDAR D, MASILAMANI S, et al. Variation in heat stress-induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars[J]. Plant Growth Regulation, 2002, 36(2): 175. DOI: [10.1023/A:1015092628374](https://doi.org/10.1023/A:1015092628374).
- [11] 张玉婷, 董建科, 景晟林, 等. 马铃薯耐热结薯资源初步筛选[C]//中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与脱贫攻坚 (2018). 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2018.
- [12] 孙玉芳, 王三根, 尹丽, 等. 高温胁迫对黄连生理特性的影响研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 236. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6850.2006.04.063](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6850.2006.04.063).
- [13] 张志忠, 吴菁华, 黄碧琦, 等. 茄子耐热性苗期筛选指标的研究[J]. 中国蔬菜, 2004(2): 4. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6346.2004.02.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6346.2004.02.035).
- [14] 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 高温对黄瓜幼苗膜脂过氧化作用的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 120(1): 141. DOI: [10.3321/j.issn:1000-4025.2000.01.022](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-4025.2000.01.022).
- [15] 孙保娟, 黎振兴, 罗少波, 等. 持续高温胁迫对茄子幼苗几个主要生理指标的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(9): 1528. DOI: [10.3969/j.issn.1000-2561.2010.09.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2010.09.018).
- [16] APEL K, HIRT H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction[J]. Annual Review of Plant Biology, 2004, 55(1): 373. DOI: [10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701).
- [17] 戴鸣凯, 张志忠, 刘爽, 等. 高温胁迫对马铃薯幼苗生长和部分生理指标的影响[J]. 农学学报, 2018, 8(9): 9. DOI: [10.11923/j.issn.2095-4050.cjas18030018](https://doi.org/10.11923/j.issn.2095-4050.cjas18030018).
- [18] 邹明倩. 高温胁迫对乌菜幼苗光合特性及抗氧化能力的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [19] 徐颖溪. 超氧化物歧化酶综合利用研究进展[J]. 园艺与种苗, 2014(8): 59. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0896.2014.08.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0896.2014.08.022).
- [20] 叶凡, 侯喜林, 袁建玉. 高温胁迫对不结球白菜幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 江苏农业学报, 2007(2): 155. DOI: [10.3969/j.issn.1000-4440.2007.02.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-4440.2007.02.016).
- [21] 邢晓蕾, 刘冬云, 胡松竹. 高温胁迫对兰州百合幼苗生理指标的影响[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(5): 65. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1573.2010.05.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1573.2010.05.015).
- [22] 杜凌, 吴楠, 董万鹏, 等. 高温胁迫对淡黄花百合幼苗生理指标的影响[J]. 种子, 2016, 35(11): 76. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2016.11.076](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2016.11.076).
- [23] 张志伟, 周津吟, 李莎. 高温胁迫对胭脂花叶片细胞膜透性影响研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(3/4): 33. DOI: [10.3969/j.issn.1007-7731.2015.03.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-7731.2015.03.014).
- [24] 黄增艳, 冷寒冰, 蒋昌华. 热激对茭苳品种部分生理指标的影响研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(2): 97. DOI: [10.3969/j.issn.1001-7461.2017.02.16](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7461.2017.02.16).
- [25] 黄滔, 刘玮, 唐红, 等. 4 种优良观赏竹耐高温与抗旱性研究及其综合评价[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 26. DOI: [10.3969/j.issn.1001-7461.2014.04.05](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7461.2014.04.05).
- [26] 贾文杰, 王祥宁, 马璐琳, 等. 干旱胁迫对东方百合根叶生理功能及花粉育性的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(11): 2194. DOI: [10.7606/j.issn.1000-4025.2017.11.2194](https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-4025.2017.11.2194).
- [27] 蒋瑶, 陈文波, 黄江中, 等. 高温胁迫对野生湖北百合生理指标的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(1): 62. DOI: [10.3969/j.issn.1001-7461.2019.01.09](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7461.2019.01.09).

责任编辑: 何馨成