

水分胁迫对甘蔗根系及地上部生长的影响

赵丽萍^{1,2}, 刘家勇^{1,2*}, 赵培方^{1,2}, 陆鑫^{1,2}, 覃伟¹, 咎逢刚^{1,2}, 赵勇^{1,2}, 杨昆^{1,2},
赵俊^{1,2}, 姚丽^{1,2}, 夏红明^{1,2}, 吴转娣^{1,2}, 吴才文^{1,2}

(1.云南省农业科学院甘蔗研究所, 云南 开远 661699; 2.云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南 开远 661699)

摘要:以 ROC22 和云蔗 05-51 为试验材料, 在防雨棚内进行土柱栽培试验, 以田间持水量的 85% 为对照, 研究轻度干旱胁迫(田间持水量的 70%)和重度干旱胁迫(田间持水量的 50%)对甘蔗根系生长及产量、株高的影响。结果表明: 甘蔗产量与根总长、根总表面积、根总体积、根鲜质量、根干质量呈极显著正相关; 与对照相比, 干旱胁迫下的株高和产量均降低, 轻度干旱胁迫下甘蔗的根总长、根系总表面积和总体积均高于对照; 重度干旱胁迫处理, ROC22 的根系较发达, 根总长、根系总表面积、总体积和抗旱系数均高于云蔗 05-51。

关键词: 甘蔗; 根系; 水分胁迫; 地上部

中图分类号: S566.1; S501

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2019)01-0010-06

The impact of water stress on the growth of roots and above-ground parts in sugarcane

ZHAO Liping^{1,2}, LIU Jiayong^{1,2*}, ZHAO Peifang^{1,2}, LU Xin^{1,2}, QIN Wei¹, ZAN Fenggang^{1,2}, ZHAO Yong^{1,2},

YANG Kun^{1,2}, ZHAO Jun^{1,2}, YAO Li^{1,2}, XIA Hongming^{1,2}, WU Zhuandi^{1,2}, WU Caiwen^{1,2}

(1.Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kaiyuan, Yunnan 661699, China;
2.Yunnan Province Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661699, China)

Abstract: Two sugarcane cultivars, ROC22 and YZ05-51, were grown in a pot trial that were conducted in greenhouse. Their roots distribution, cane yield and plant height under three water stress condition, moderate stress: 70% of field capacity; severe stress: 50% of field capacity; check: 85% of field capacity, were investigated. The results indicated that the yield had a significant positive correlation with root length, total root volume, root surface area, root fresh weight, and root dry weight. Plant height and cane yield of two cultivars in water stressed treatment were lower than the check treatment, however, their total root length, root surface area and total root volume in moderate stress treatment were much higher than the check treatment. In the most water stress treatment, the total root length, root surface area, total root volume and drought resistance index of ROC22 were much higher than that of YZ05-51, and the roots of ROC22 distributed more than YZ05-51 at the soil layer.

Keywords: sugarcane; roots; water stress; above-ground parts

甘蔗是主要的糖料作物。中国 85% 以上的甘蔗种植在旱地上。干旱已成为甘蔗生产主要的限制因素之一。根系参与甘蔗体内物质的合成和转化过程, 决定养分的吸收和利用, 干旱来临时根系最先

感知, 并通过调整自身形态和生理生化特征来适应水分胁迫^[1]。轻度干旱胁迫可促进根系的生长, 使根系向深层土壤中生长, 从而提高根系的吸水能力; 重度干旱胁迫抑制根系和地上部生长^[2-3], 植

收稿日期: 2018-03-13

修回日期: 2018-04-08

基金项目: 国家产业技术体系项目(CARS-20-1-1); 云南省科技创新人才计划项目(2014HC015); 云南省重大科技专项(2015ZA001); 云南省甘蔗遗传改良重点实验室开放课题基金项目(2015DG015-11); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项(16300520170 20-4)

作者简介: 赵丽萍(1981—), 女, 云南沾益人, 硕士, 助理研究员, 主要从事甘蔗遗传育种研究, zlp_alyma@126.com; *通信作者, 刘家勇, 硕士, 研究员, 主要从事甘蔗遗传育种研究, lljjyy1976@163.com

株和根系均表现出惊人的可塑性^[4-5]。根系在土壤中的分布和生长状况与地上部植株对养分和水分的吸收利用密切相关^[6]。研究不同土壤水分状况下甘蔗根系在土层中的形态分布,对提高甘蔗产量和品种选育具有重要意义。土壤水分对根系及地上部生长的影响已有部分报道^[7-10],但前人的研究局限于盆栽条件下对甘蔗苗期根系的研究^[11-13],以及采用挖掘法对大田甘蔗根系进行研究^[8]。本试验采用 PVC 圆桶土柱法模拟大田环境,研究水分胁迫处理下 2 个甘蔗品种根系分布特征及地上部生长情况,旨在为甘蔗根系生长调控及抗旱品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试甘蔗品种为 ROC22^[14]和云蔗 05-51^[15]。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 5—12 月在云南省农业科学院甘蔗研究所防雨棚内进行。采用土柱栽培试验,棚内光照度约为自然光的 60%。土柱使用 PVC 圆筒制成,高 120 cm,直径 25 cm,底部可拆卸。每个土柱装基质 60 kg。基质中河沙、有机质及红壤土的比例分别为 4:4:2;土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为 99.76、0.38、0.84、3.76 g/kg;有效磷和速效钾含量分别为 94、911.25 mg/kg;pH 值为 7.25。

采用河沙单芽育苗,甘蔗苗长至 3 叶 1 心时,选取长势茁壮且基本一致的幼苗移栽至 PVC 圆筒,每桶种植 1 株。移栽后每桶覆盖 2 kg 聚乙烯(polyethylene, PE)颗粒,以减少水分蒸发。圆筒随机排列,参照杨再强等^[6]的试验设计并作适当改进。

水分胁迫开始时,在 2 个空白对照的土柱底部均匀钻取 10 个直径为 0.5 cm 的排水孔,每个土柱缓慢灌水直到底部排水孔开始出水为止。称取 1.5 kg PE 颗粒覆盖土表;静置 48 h 后,待排水孔停止排水后,将排水孔封堵,用时域反射仪(TDR)测量每桶土壤达饱和持水量的需水量。经测定,本试验饱和含水量为 34.33% (体积含水量)。

根据饱和含水量设置 3 个水分处理:对照(饱和含水量的 85%,CK);轻度水分胁迫(饱和含水量的 70%,T1);重度水分胁迫(饱和含水量的 50%,T2)。

每个处理 3 个重复。水分胁迫试验于分蘖期进行(2018 年 7 月 24 日),水分处理持续到植株收获。

试验期间每天上午用 TDR 测定每桶混合土体积含水量,根据公式 $W=(W_t-W_0)/100 \times \text{桶内土壤体积} \times 1000$,计算每桶补水量。式中: W_t 为土壤体积含水量的目标值; W_0 为土壤体积含水量测量值(%); W 为补水量。每天 16:00 补水,尽量保证浇水均匀。

1.3 指标的测定

1) 株高的测定。株高为植株基部至最高可见肥厚带的高度。水分胁迫前一天(2018 年 7 月 23 日)测定一次株高,8 月 24 日至 12 月 1 日期间共测定 5 次。

2) 根系的采集及测定。收获时,刈割甘蔗地上部。冲洗地下部根际土壤,分割 0~30 cm、30~60 cm 及 60 cm 以上的根系,清洗干净,用吸水纸吸干水分,将根系放入塑料自封袋,置于冰箱。用 Epson7500 扫描仪对根系进行扫描,扫描时将根系放入特制的透明托盘内,摆放时尽量避免根系互相缠绕和重叠。扫描后保存图像,采用 WinRHIZO 分析程序对图像进行分析,计算出根长、根表面积、根系平均直径、根体积。

3) 生物量的测定。剥离甘蔗地上部的茎、叶,分别称量鲜质量。将称量好的茎、叶以及扫描后的根系于 105 ℃ 杀青 30 min,75 ℃ 下烘干至恒重,称质量。

4) 产量及抗旱系数的测定。成熟期时称量每个土柱内的甘蔗有效茎计为产量;抗旱系数为干旱胁迫处理下的产量与正常供水处理下产量的比值。

5) 根冠比的测定。根系生物量与地上部生物量的比值。

1.4 数据处理

用 Excel 2007 软件进行数据整理和作图,用 SPSS 21 分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对甘蔗根系和植株的生物量及产量的影响

从表 1 可以看出,与对照相比,轻度干旱胁迫和重度干旱胁迫下,2 个甘蔗品种根系生物量、地上部生物量和产量均下降,且重度干旱胁迫下 2 个

甘蔗品种的地上部生物量和产量下降程度达显著水平。T1、T2 处理下,云蔗 05-51 分别减产 34.93%、62.25%, ROC22 分别减产 19.09%、56.71%。T1 处

理下,云蔗 05-51 根冠比显著增加;T2 处理下,ROC22 根冠比显著增加。ROC22 的抗旱系数大于云蔗 05-51。

表1 水分胁迫处理甘蔗的生物量、根比冠、产量和抗旱系数

Table 1 Impact of different moisture treatment on biomass, root to shoot ratio, yield and drought coefficient of two sugarcane cultivars

品种	处理	根系生物量/g	地上部生物量/g	根冠比	产量/g	抗旱系数
云蔗 05-51	CK	90.60	1 100.60a	0.08b	3 285.00a	
	T1	88.85	652.75ab	0.14a	2 137.50ab	0.65
	T2	47.00	474.50b	0.10ab	1 240.00b	0.38
ROC22	CK	81.20	821.15a	0.10b	2 252.50a	
	T1	57.85	620.40ab	0.09b	1 822.50ab	0.81
	T2	50.20	362.75b	0.14a	975.00b	0.43

同列不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 水分胁迫对甘蔗根系性状的影响

对 2 个甘蔗品种根系性状进行分析,根总长、根总表面积、根直径、根总体积的均值分别为 92 835.51 cm、20 770.14 cm²、0.73 mm、3 865.65 cm³, 变异系数分别为 4.68%、4.67%、1.91%、4.72%。对

不同根系性状进行 2 因素方差分析(表 2) 结果表明:不同品种及处理间根总长、根总表面积、根总体积存在极显著差异,且存在材料和处理的交互作用,根直径差异无统计学意义。分别对根总长、根总表面积、根总体积作单因素方差分析,结果见图 1。

表2 不同水分处理下甘蔗根系性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of root traits of sugarcane under different water treatments

变量	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
根总长	材料	3 811 706 405.000	1	3 811 706 405.000	24.10	0.00
	处理	6 079 843 002.000	2	3 039 921 501.000	19.22	0.00
	材料×处理	5 273 950 562.000	2	2 636 975 281.000	16.67	0.01
根总表面积	材料	144 014 218.600	1	144 014 218.600	22.18	0.01
	处理	258 793 440.600	2	129 396 720.300	19.92	0.00
	处理×材料	221 365 081.100	2	110 682 540.500	17.04	0.01
根直径	材料	0.002	1	0.002	5.42	0.07
	处理	0.002	2	0.002	1.28	0.36
	材料×处理	0.001	2	0.001	0.76	0.51
根总体积	材料	37 698.090	1	37 698.090	22.52	0.01
	处理	74 209.650	2	37 104.830	22.16	0.00
	材料×处理	63 237.970	2	31 618.980	18.89	0.01

由图 1 可知,干旱胁迫对 2 个甘蔗品种根总长、根总表面积、根总体积的影响存在差异。T1 处理下,云蔗 05-51、ROC22 的根总长、根总表面积、根总体积均高于对照,但 T2 处理下均低于对照,说明适度干旱有利于根系在土壤水分不足条件下吸收更

多的水分,以供甘蔗生长需要,而重度干旱胁迫抑制甘蔗根系生长。在 CK、T1 处理下,云蔗 05-51 的根总长、根总表面积均高于 ROC22;T2 处理下,ROC22 的根总长、根总表面积、根总体积比云蔗 05-51 高。

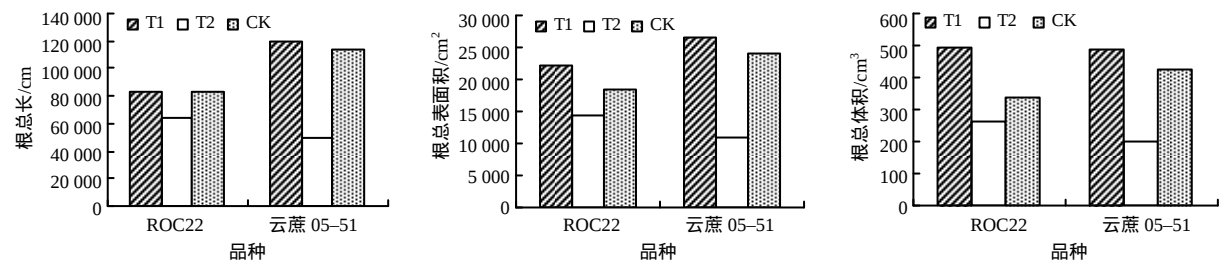


图 1 不同水分处理下甘蔗的根总长、根总表面积及根总体积

Fig.1 Total root length, total surface area and total volume of sugarcane under different moisture treatment

2.3 水分胁迫对 2 个甘蔗品种株高的影响

从表 3 可以看出,从处理中期(9 月 8 日)开始,甘蔗株高随着土壤水分减少呈下降趋势。在灌溉初期(7 月 23 日),T1、T2 与 CK 处理下,云蔗 05-51 的株高的差异无统计学意义;水分胁迫处理至末期(12 月 1 日),与对照相比,T1、T2 处理下,云蔗 05-51 的株高显著降低,但 T1 和 T2 之间的差

异无统计学意义。水分处理初期和中期,ROC22 的株高处理间的差异无统计学意义,但随着处理时间的增加,不同处理间的差异逐渐增大,灌溉中后期(10 月 22 日)到末期(12 月 1 日),T1、T2 处理下,ROC22 的株高与 CK 的差异均达显著水平。说明干旱胁迫处理对不同甘蔗品种株高的影响不同,T1、T2 水分胁迫明显抑制了甘蔗植株的增长。

表3 不同水分处理下甘蔗的株高

Table 3 Plant height of sugarcane under different soil moisture treatments

品种	株高/cm						
	处理	07-23	08-24	09-08	09-22	10-22	12-01
云蔗 05-51	CK	83.50	146.00a	179.00a	202.50a	227.50a	265.00a
	T1	70.00	110.00b	125.00b	147.50b	165.00b	197.50b
	T2	80.50	107.50b	121.50b	141.00b	156.50b	171.50b
ROC22	CK	76.00	128.50	154.00	180.00	212.50a	243.85a
	T1	78.50	126.00	148.00	165.00	190.00b	213.9b
	T2	83.00	126.50	146.00	160.00	180.00b	195.35b

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 根系性状与产量的相关性

由表 4 可知:产量与根总长、根总表面积、根总体积、根鲜质量、根干质量均呈极显著正相关;产量、株高、茎径与根系平均直径呈负相关;株高、

茎径与根系性状的相关系数的差异均无统计学意义。说明培育良好的根系对甘蔗产量提高具有重要意义。

表4 植株生长指标与根系性状的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between growth indexes and root traits of sugarcane plant

指标	相关系数					
	根总长	根总表面积	根系平均直径	根总体积	根鲜质量	根干质量
产量	0.76**	0.78**	-0.08	0.75**	0.78**	0.83**
株高	0.51	0.47	-0.31	0.37	0.37	0.42
茎径	0.25	0.19	-0.32	0.11	0.31	0.33

***表示极显著相关($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

植物的根系性状,如根长、根系生物量、根体积等是衡量植物抗旱性的重要指标^[16-18]。研究表

明,抗旱能力强的品种根系发达^[7,19-21],但不同品种的根系性状存在较大差异^[10,21-23]。本试验结果表明,云蔗05-51根系发达,在正常供水和轻度干旱胁迫下,根系生物量、根总长、根总表面积均大于

ROC22,且产量高于ROC22。但在重度干旱胁迫下,ROC22的根系生物量、根总长、根总表面积和总体积均大于云蔗05-51,且ROC22的抗旱系数较高,说明ROC22对干旱的适应性强于云蔗05-51。不同甘蔗的根系性状对水分吸收利用的差异可能是影响其产量和抗旱性的重要原因。

郭数进等^[24]研究表明,抗旱型大豆品种具有较高的根冠比;SMUCKER等^[25]研究表明,土壤含水量降低时,地上部向根部运输的同化物增加,根冠比增大;孙彩霞等^[26]研究表明,干旱胁迫下玉米根冠比降低;齐伟等^[27]研究表明,不耐旱玉米品种根冠比升高,而耐旱玉米品种根冠比前期升高,后期降低。本试验中,干旱胁迫处理下云蔗05-51根冠比随干旱程度加剧先升高后降低,而ROC22随干旱程度加大先降低后升高。云蔗05-51在轻度干旱胁迫下根冠比显著高于对照,而ROC22在重度干旱胁迫下根冠比显著高于对照。干旱胁迫下,根系生物量减少,与OGBONNAYA等^[28]研究结果一致。

研究^[6,24]表明,根长和根质量在轻度干旱胁迫下增加,在重度干旱胁迫下减少;干旱胁迫下冬小麦的根系生长发育受到抑制^[29],但在苜蓿中的研究结论^[30]则相反;吴敏等^[31]研究表明,轻度干旱下栓皮栎的细根干质量开始发生下降,而重度干旱则导致其干质量显著降低。马富举等^[32]研究表明,干旱胁迫抑制了小麦幼苗干物质积累,敏感型品种地上部和根系生长均受到显著抑制,而耐旱型品种受抑制不明显。本研究结果表明,2个不同甘蔗品种随着干旱胁迫程度的增加,根系生物量逐渐下降,但在轻度干旱胁迫下根总长、根总表面积、根总体积均高于对照,在重度干旱胁迫下低于对照。主要是因为重度干旱胁迫下,由于地上部光合产物积累降低,从而导致向根部供应的碳水化合物短缺,导致干物质合成受阻,从而限制了根的干物质累积。轻度干旱胁迫处理对植株地上部分的生长影响不显著,但地上部向根部运输的同化物增加,因此,轻度干旱胁迫下根系生长加快。

参考文献:

- [1] 丁红,张智猛,戴良香,等.干旱胁迫对花生根系生长发育和生理特性的影响[J].应用生态学报,2013,24(6):1586-1592.
- [2] 金不换,陈雅君,吴艳华,等.早熟禾不同品种根系

分布及生物量分配对干旱胁迫的响应[J].草地学报,2009,17(6):813-816.

- [3] 汪强,樊小林, KLAUS D,等.不同水分条件下水稻根系生长与产量变化关系研究[J].中国农学通报,2006,22(11):106-111.
- [4] DE DORLODOT S, FORSTER B, PAGÈS L, et al. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops[J]. Trends Plant Sci, 2007, 12(10): 474-481.
- [5] 任永哲,徐艳花,丁锦平,等.非生物因素调控植物根系发育可塑性的研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):34-38.
- [6] 杨再强,邱译萱,刘朝霞,等.土壤水分胁迫对设施番茄根系及地上部生长的影响[J].生态学报,2016,36(3):748-757.
- [7] SURALTA R R, KANO-NAKATA M, NIONES J M, et al. Root plasticity for maintenance of productivity under abiotic stressed soil environments in rice: progress and prospects[J]. Field Crops Research, 2018, 220:57-66.
- [8] CHOPART J L, AZEVEDO M C B, LE MÉZO L, et al. Functional relationship between sugarcane root biomass and length for cropping system applications[J]. Sugar Tech, 2010, 12(3/4): 317-321.
- [9] LI Y P, WANG Y Q, MA C, et al. Influence of the spatial layout of plant roots on slope stability[J]. Ecological Engineering, 2016, 91: 477-486.
- [10] LACLAU P B, LACLAU J P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil[J]. Field Crops Research, 2009, 114(3): 351-360.
- [11] 罗海斌.甘蔗苗期根系抗旱生理及相关基因研究[D].桂林:广西师范大学,2012.
- [12] 赵丽萍,刘家勇,覃伟,等.甘蔗实生苗根系性状的遗传分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(5):470-475.
- [13] 赵丽萍,刘家勇,赵培方,等.营养液pH对甘蔗实生苗生长的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(2):122-126.
- [14] ZHAO P F, XIA H M, YANG K, et al. Sugarcane yield components and sugar content in ROC22 progeny populations[J]. International Sugar Journal, 2016, 118: 134-141.
- [15] ZHAO P F, LIU J Y, YANG K, et al. Registration of 'YZ05-51' sugarcane[J]. Journal of Plant Registrations, 2015, 9(2): 172-178.
- [16] ZHAO C X, DENG X P, SHAN L, et al. Changes in root hydraulic conductivity during wheat evolution[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(3): 302-310.
- [17] CONERS H, LEUSCHNER C. In situ measurement of fine root water absorption in three temperate tree species:

- temporal variability and control by soil and atmospheric factors[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2005, 6(4): 395–405.
- [18] 董桂春, 王余龙, 王坚刚, 等. 不同类型水稻品种间根系性状的差异[J]. *作物学报*, 2002, 28(6): 749–755.
- [19] 李德顺, 刘芳, 马永光. 玉米根系与抗旱性关系研究[J]. *杂粮作物*, 2010, 30(3): 195–197.
- [20] 马廷臣, 余蓉蓉, 陈荣军, 等. PEG-6000模拟干旱对水稻幼苗期根系的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(6): 1206–1211.
- [21] DE SILVA A L C, DE COSTA W A J M, BANDARA D M U S. Growth of root system and the patterns of soil moisture utilization in sugarcane under rain-fed and irrigated conditions in sri lanka[J]. *Sugar Tech*, 2011, 13(3): 198–205.
- [22] 厉广辉, 万勇善, 刘凤珍, 等. 不同抗旱性花生品种根系形态及生理特性[J]. *作物学报*, 2014, 40(3): 531–541.
- [23] 赵丽萍, 刘家勇, 咎逢刚, 等. 磷素对不同基因型甘蔗生长的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(6): 590–594.
- [24] 郭数进, 杨凯敏, 霍瑾, 等. 干旱胁迫对大豆鼓粒期叶片光合能力和根系生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1419–1425.
- [25] SMUCKER A J M, AIKEN R M. Dynamic root responses to water deficits[J]. *Soil Science*, 1992, 154(4): 281–289.
- [26] 孙彩霞, 沈秀瑛. 玉米根系生态型及生理活性与抗旱性关系的研究[J]. *华北农学报*, 2002, 17(3): 20–24.
- [27] 齐伟, 张吉旺, 王空军, 等. 干旱胁迫对不同耐旱性玉米杂交种产量和根系生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 48–52.
- [28] OGBONNAYA C I, NWALOZIE M C, ROY-MACAULEY H, et al. Growth and water relations of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under water deficit on a sandy soil[J]. *Industrial Crops and Products*, 1998, 8(1): 65–76.
- [29] 单长卷, 梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 38–41.
- [30] 李文尧, 张岁岐, 丁圣彦, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(19): 5140–5150.
- [31] 吴敏, 张文辉, 周建云, 等. 干旱胁迫对栓皮栎幼苗细根的生长与生理生化指标的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(15): 4223–4233.
- [32] 马富举, 李丹丹, 蔡剑, 等. 干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 724–730.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳 正