

水分胁迫对‘翠鸟’玉簪叶片表皮蜡质及生理特性的影响

曲玉莹¹, 曲波², 崔娜², 邵美妮², 关萍², 金恺¹, 许玉凤^{2,*}

(¹沈阳农业大学林学院, 沈阳 110161; ²沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳 110161)

摘要: 为探究土壤水分对阴生植物玉簪叶片表皮蜡质及生长的影响, 以蓝叶玉簪‘翠鸟’(*Hosta* ‘Halcyon’)为试材, 采用盆栽方法, 设置正常给水、轻度、中度和重度胁迫 4 种土壤水分处理, 研究其叶片表皮蜡质和生理特性的变化, 并对它们之间的关系进行了分析。结果表明: 在一定范围内, 随着干旱程度的增加, 表皮蜡质的量随之增大; 本研究中, 中度胁迫的蜡质最多, 其光合速率、蒸腾速率、气孔导度等处于较低水平, 表明‘翠鸟’玉簪在干旱胁迫下通过减小气孔开度、减少蒸腾速率及叶片水分散失, 以提高水分利用效率, 从而增强自身的抗旱性; 随着胁迫加剧, 光合速率、水分利用效率及叶绿素含量明显下降, 说明叶绿素合成受到抑制。叶片表皮蜡质的增加, 减少了叶片表面通透性, 从而降低水分散失, 以减少干旱对植株生长的不利影响。此外还发现, 蜡质的多少直接影响植物叶片的颜色。中度水分胁迫时, 其蜡质最多, 同时叶绿素含量较高, 所以叶片蓝绿色显著深于重度胁迫处理, 观赏价值较高。

关键词: 玉簪; 水分胁迫; 叶片; 蜡质; 生理特性

中图分类号: S 682.1⁺9

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2019) 07-1344-07

Effects of Water Stress on the Epicuticular Wax and Physiological Characteristics of *Hosta* ‘Halcyon’ Leaves

QU Yuying¹, QU Bo², CUI Na², SHAO Meini², GUAN Ping², JIN Kai¹, and XU Yufeng^{2,*}

(¹College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; ²College of Biotechnology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to study the effects of soil water on the epicuticular wax and the growth of shade plant leaves, the blue leaf variety of *Hosta* ‘Halcyon’ was grown in pots with 4 kinds of soil water treatments, which were normal water supply, light water stress treatment, medium water stress treatment and severe water stress treatment. The changes of epicuticular wax and physiological characteristics of *Hosta* ‘Halcyon’ leaves were studied under different water stress, and the relationships between them were analyzed. The results showed that the epicuticular wax increased with the increase of drought, and the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of the medium stress treatment were at low level within a certain drought range, which indicated that the *Hosta* ‘Halcyon’ improved water use

收稿日期: 2019-01-09; **修回日期:** 2019-07-09

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC1503105)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: 1207664054@qq.com)

efficiency and enhanced drought resistance by reducing stomatal opening, transpiration rate and leaf water loss under water stress. With the further intensity of water stress, photosynthesis rate, water use efficiency and leaf chlorophyll content decreased significantly, indicating that chlorophyll synthesis was inhibited, and the increase of leaf epicuticular wax decreased leaf surface permeability, thus reducing water dispersion loss in order to reduce the adverse effects of drought on plant growth. In addition, the study showed that the wax directly affected the color of the leaves. The medium stress group had the highest wax content and higher chlorophyll content, so the blue-green leaf was significantly deeper than the severe stress group, and the ornamental value was higher.

Keywords: *Hosta plantaginea*; water stress; leaf; wax; physiological characteristics

玉簪属 (*Hosta* Tratt) 植物为百合科 (Liliaceae) 多年生草本花卉, 在东亚的温带和亚热带地区分布广泛 (关梦茜, 2013)。玉簪具有花、叶共赏、形态独特、抗逆性强、耐阴性强等特点, 在园林绿化中广泛应用 (代慧 等, 2014), 至 20 世纪末成为世界销量第一的草本花卉 (Grenfell, 1996; Zilis, 2000)。*‘翠鸟’玉簪* (*Hosta ‘Halcyon’*) 是美国育种学家在 2005 年培育出的蓝叶玉簪系列品种之一, 叶片卵圆形, 其叶片表面分布的蜡粉影响其对光线的吸收和反射, 使叶片呈深蓝绿色, 具有很高的观赏价值 (施爱萍 等, 2004)。其作为蓝叶类型玉簪的典型代表, 全株被蜡粉, 栽培和养护成本低, 病虫害少, 抗逆性强, 极具观赏性, 是很有开发利用潜力的品种。

蜡质一般覆盖在植物表皮的最外层, 具有保护作用, 其多具有独特的三维结构, 可分为外蜡质层和内蜡质层 (Samuels et al., 2008)。外蜡质层在扫描电镜下可观察到片状和管状等多种类型, 主要由可溶性的超长链脂肪酸、烷烃、一级醇、二级醇、脂肪醛、酮类和酯类组成。而内蜡质层为无定型态, 在电子显微镜下不易观察到, 除了主要含有超长链脂肪酸及其衍生物外, 还包括萜类和其他微量的次级代谢物, 如固醇和类黄酮类物质 (Macherius et al., 2001) 等。玉簪表皮蜡质晶体为管状, 主要是由伯醇、仲醇、三萜类、 β -二酮等组成 (Jenks et al., 2002)。

表皮蜡质是植物与环境接触的第一道屏障, 当遇到不利的环境因子时, 表皮蜡质能够通过改变自身的晶体结构及理化特性, 构建防御机制, 以减少不利环境因素的影响 (朱双艳 等, 2015; 吴洪启 等, 2017; Qi et al., 2019)。在研究干旱条件下小麦叶片表皮蜡质结构变化时发现, 5 种基因型的叶片正面的蜡质结构没有差异, 均覆盖着致密的片状蜡晶体, 而叶片背面的蜡质结构差异很大, 蜡质较少的基因型叶片蜡质结构以板状蜡晶体占据优势, 而蜡质较多的基因型以长管状晶体为主 (Bi et al., 2017)。Kosma 等 (2009) 的研究表明, 干旱胁迫后拟南芥植株通过合成大量烷烃类蜡质来抵抗外界干旱逆境; 此外, 研究发现低空气湿度胁迫与土壤水分胁迫下紫花苜蓿的表皮烷类和酯类均增加 (郭彦军 等, 2011)。Jenks 等 (2002) 研究结果表明, 玉簪表皮蜡质随着叶片发育时期和季节的变化而改变, 幼叶的蜡质比成熟叶片多, 春季和秋季比夏季多, 是玉簪适应外界环境条件而自我调节的一种机制。

本研究中通过探究‘翠鸟’玉簪在不同水分处理下的生理特性及叶片表皮蜡质含量的变化, 分析水分胁迫与植物生长、蜡质合成和观赏价值的关系, 为该类型玉簪品种在北方的栽培和养护提供必要的指导依据。

1 材料与方

1.1 材料

本试验在沈阳农业大学天柱山科研基地(41°51'N, 123°34'E)进行, 气候类型为大陆性季风气候, 四季分明, 春、两季较短, 冬季较长, 年平均气温 8.1 °C, 年降水量为 721.9 mm。

2018 年 5 月 10 日选择生长一致的‘翠鸟’玉簪幼苗, 移栽至花盆(直径 29 cm, 高 20 cm)中, 每盆装土 7 kg, 土壤 pH 7.14, 全氮含量 $0.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷含量 $0.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾含量 $9.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质含量 $1.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效氮含量 $8.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷含量 $58.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效钾含量 $54.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黑色遮阳网遮荫 50% 的自然光照。生长 1 个月以后进行水分处理: 正常给水(土壤相对含水量为 90%~95%)、轻度胁迫(70%~75%)、中度胁迫(50%~55%)、重度胁迫(30%~35%)。每盆 2 株, 每种处理 6 盆重复, 共培养 24 盆。每天 18 时用称重法补水控水, 7 月 20 日, 测定 4 种处理下‘翠鸟’玉簪的各项指标。

1.2 测定项目与测定方法

叶片表皮蜡质的测定: 采用氯仿浸提法(Jenks et al., 2002)。

叶片光合特性的测定: 利用 Li-6800 便携式光合系统(Li-cor, USA)。选择晴朗无风天在 9:00—11:00 测定植物叶片的净光合速率(P_n , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)等光合参数, 计算水分利用效率($\text{WUE} = P_n/T_r$, $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

利用叶绿素荧光仪(Pam-2000), 选择晴朗无风时测定叶片的叶绿素荧光参数。

利用 CR-10 Plus 测定叶片的色差值。

采用 SPSS 22.0、Excel 2010 软件处理数据, 采用单因素方差分析进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对‘翠鸟’玉簪叶片表皮蜡质的影响

‘翠鸟’玉簪叶片有较多蜡粉。中度水分胁迫的叶片蜡质量较大, 为 $26.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其次是轻度胁迫, 为 $18.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 两者与对照比差异不显著; 重度胁迫最少, 与其他处理差异显著($P < 0.05$) (图 1)。

2.2 水分胁迫对‘翠鸟’玉簪叶片光合特性的影响

2.2.1 净光合速率

不同程度水分胁迫下, ‘翠鸟’ P_n 差异显著, 轻度胁迫 > 正常给水 > 中度胁迫 > 重度胁迫, 轻度胁迫的 P_n 为 $6.07 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,

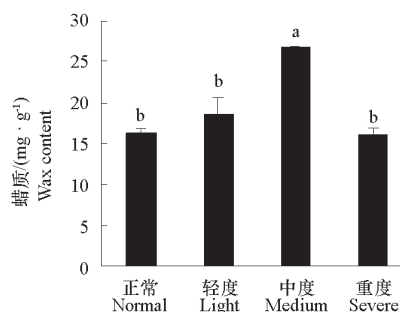


图 1 不同水分胁迫对‘翠鸟’玉簪表皮蜡质的影响
Fig. 1 Effects of different water treatments on the epicuticular wax of *Hosta* 'Halcyon'

重度胁迫的 P_n 为 $0.51 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2, A)。

2.2.2 蒸腾速率

‘翠鸟’玉簪 T_r 的变化与 P_n 的变化趋势一致, 轻度胁迫的 T_r 最高, 为 $2.48 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 重度胁迫最低, 为 $0.35 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2, B)。

2.2.3 水分利用效率

轻度胁迫、中度胁迫和正常给水的 WUE 差异不显著 ($P < 0.05$); 重度胁迫的 WUE 显著低于前 3 种处理, 为 $1.47 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2, C)。

2.2.4 胞间 CO_2 浓度

C_i 浓度随着水分胁迫的加剧, 呈现出先下降后上升的趋势, 最大值 $241.17 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 为重度胁迫 (图 2, D)。

2.2.5 气孔导度

轻度胁迫的 G_s 最大, 是正常给水的 1.09 倍; 中度胁迫和重度胁迫 G_s 显著低于正常给水, 分别为正常给水的 60.67% 和 12.89% ($P < 0.05$) (图 2, E)。

2.2.6 叶温

叶温随着水分胁迫的加剧呈现出逐渐上升的趋势, 在重度胁迫下叶片温度最高, 为 39.8°C (图 2, F)。

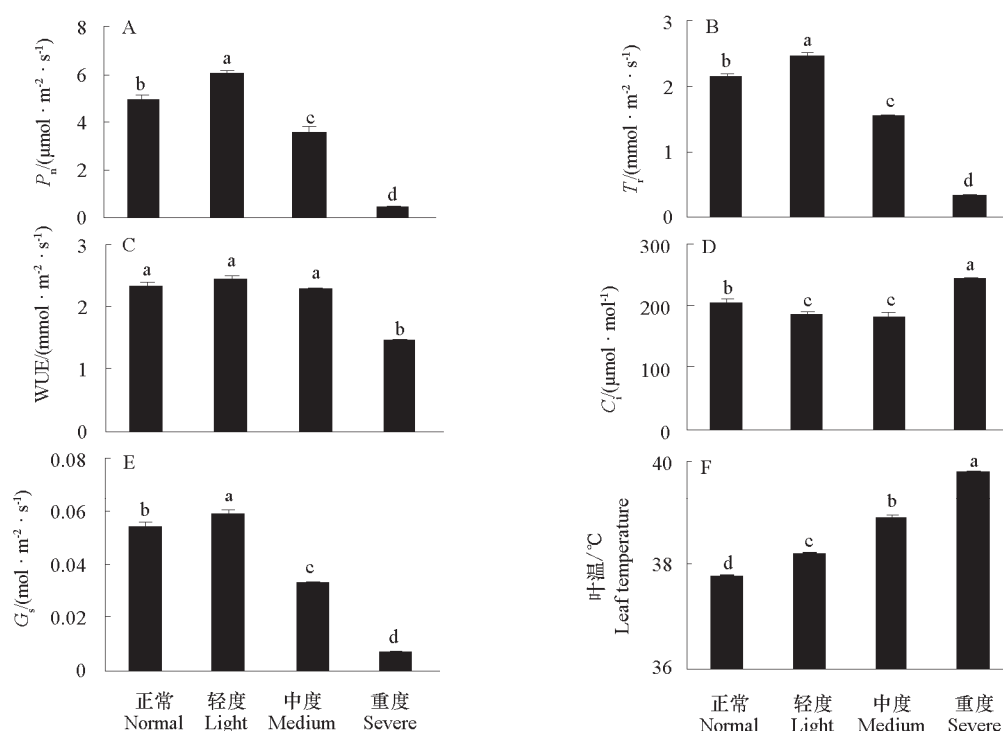


图 2 不同水分胁迫对‘翠鸟’玉簪叶片光合特性的影响

Fig. 2 Effects of different water treatments on photosynthetic characteristics of *Hosta* ‘Halcyon’

2.2.7 叶绿素荧光特性和叶绿素含量

由表 1 可以看出, 随着水分胁迫加剧, F_o 值逐渐增加, 而 F_m 、 F_v/F_m 、Yield、 q_p 及 ETR 值逐渐下降, 各处理间差异显著 ($P < 0.05$), 表明干旱胁迫抑制光合作用反应中心的电子传递、光能转化

及暗适应等过程（李得禄 等，2015）。

随着土壤含水量的下降，叶片的叶绿素含量呈现出先上升、随后逐渐下降的趋势；轻度胁迫的最高，重度胁迫的最低。

表 1 不同水分胁迫对‘翠鸟’玉簪叶绿素荧光参数和叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of different water treatments on chlorophyll fluorescence parameters and chlorophyll content of *Hosta* ‘Halcyon’

水分处理 Water treatment	F_o	F_m	F_v/F_m	Yield	q_p	ETR	Chl.
正常给水 Normal	0.34 ± 0.01 d	1.47 ± 0.03 a	0.77 ± 0.004 a	0.50 ± 0.010 a	0.78 ± 0.003 ab	151.84 ± 0.05 a	2.60 ± 0.015 b
轻度胁迫 Light	0.36 ± 0.05 c	1.35 ± 0.10 b	0.74 ± 0.010 a	0.49 ± 0.020 a	0.79 ± 0.010 a	147.10 ± 0.10 a	2.70 ± 0.025 a
中度胁迫 Medium	0.38 ± 0.02 b	1.27 ± 0.04 d	0.70 ± 0.020 b	0.43 ± 0.010 b	0.79 ± 0.002 a	130.98 ± 0.09 b	2.39 ± 0.021 c
重度胁迫 Severe	0.43 ± 0.02 a	1.30 ± 0.04 c	0.65 ± 0.005 c	0.41 ± 0.004 b	0.77 ± 0.010 b	125.52 ± 0.01 b	2.30 ± 0.015 d

注：表中小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

Note: Lowercase letters in the table stand for the significant difference at 0.05 level.

2.2.8 色差值

L 值代表明亮度，正值亮，负值暗； a 值反映红色或绿色物质浓度，正值为红，负值为绿； b 值代表黄蓝色度，正值为黄，负值为蓝（王秋萍 等，2010）。正常给水的‘翠鸟’叶片的 L 、 a 和 b 值分别为 40.2、-5.2 和 6.2，轻度胁迫到重度胁迫，叶片的 L 值先下降后上升，而 b 值逐渐增大，表明叶片随胁迫的加剧，叶片的蓝绿色逐渐变浅。 ΔE 为总色差值，0~0.5 为极小差异，0.5~1.5 为稍有差异，1.5~3.0 为有差异，3.0~6.0 为差异显著，6.0 以上为差异极显著（魏斌和陈启鑫，1996）。随着胁迫的加剧，‘翠鸟’玉簪的 ΔE 值逐渐增加，各处理间叶色差异显著（表 2），表明胁迫使叶片蓝绿色变浅。

表 2 不同水分处理对‘翠鸟’玉簪色差值的影响

Table 2 Effects of different water treatments on the leaf color of *Hosta* ‘Halcyon’

水分处理 Water treatment	ΔL	Δa	Δb	ΔE
轻度胁迫 Light	4.63 ± 0.07 b	1.23 ± 0.23 a	2.40 ± 0.61 b	5.47 ± 0.23 b
中度胁迫 Medium	3.63 ± 0.13 c	-0.17 ± 0.12 b	3.37 ± 1.17 ab	5.03 ± 0.93 b
重度胁迫 Severe	6.93 ± 0.27 a	0.00 ± 0.21 b	6.13 ± 0.61 a	9.30 ± 0.30 a

2.3 蜡质与光合特性的关系

由表 3 可知，胞间 CO_2 浓度（ C_i ）与叶片表面蜡质含量呈极显著负相关，表明蜡质含量增加，可减少水分胁迫下自身水分的散失，从而起到自我保护的作用。但严重胁迫下，植株叶片表皮蜡质逐渐减少，生长受到明显抑制。除胞间 CO_2 浓度外，叶片表面蜡质含量与其他光合指标间无显著相关性（ $P < 0.01$ ）。

表 3 ‘翠鸟’玉簪蜡质与光合特性的相关系数

Table 3 Relationship between epicuticular wax and photosynthetic characteristics of *Hosta* ‘Halcyon’

性状 Trait	P_n	T_r	WUE	C_i	G_s	T_L
蜡质含量 Wax content	0.101	0.009	0.329	-0.590**	0.009	0.085

注：**表示 0.01 水平显著。

Note: ** Significant at $P < 0.01$.

3 讨论

植物蜡质在其抵抗干旱方面发挥着重要作用(Riederer & Schneider, 1990)。水分利用效率(WUE)是作物生长及生产的一个重要综合指标, 其值大小取决于光合速率、蒸腾速率和气孔导度。一般认为, 表皮蜡质的含量与厚度影响植物的水分蒸腾, 植物的蜡质含量高其耐旱能力也较强。本研究中发现, 中度胁迫其光合速率、蒸腾速率、气孔导度处于较低水平, 这可能是通过减小气孔开度, 减少蒸腾速率及叶片水分散失, 提高其水分利用效率, 从而增强植物的抗旱性, 这与前人的研究结果(叶小利 等, 2010)一致。随着水分胁迫的进一步加剧, 叶片表皮蜡质逐渐减少。胁迫期间植物体内相关保护机制无法消耗过剩的光能, 使其光合机构受到过剩光能的损害, 发生光抑制(莫伟平 等, 2015), 光合速率、水分利用效率等, 重度胁迫显著低于中度胁迫。

一般认为, 叶片蜡质越多, 对光的反射能力越强, 蒸腾速率减弱, 因此叶温会降低。在本研究中, 中度干旱胁迫范围内, 蜡质和叶温呈显著正相关关系, 即蜡质越多, 其叶温也高, 这与传统观点不同, 但与黄玲等(2003)研究小麦叶片蜡质含量与叶片温度的关系的研究结果相似。本研究中, 在重度干旱胁迫条件下, 光合速率、蒸腾速率、气孔导度和蜡质含量等都显著下降, 导致叶片的温度明显升高, 说明植物的蜡质和抗旱节水性状的关系比较复杂, 受诸多因素的综合影响。

干旱胁迫下叶片的叶绿素含量明显下降, 说明干旱胁迫下叶绿素的合成受阻。表皮蜡质含量的增加将减少叶片表面通透性(Islam et al., 2009), 从而降低水分散失, 以减少干旱对植株生长的不利影响。此外本研究中发现, 叶绿素和蜡质含量的多少直接影响着植物叶片的颜色, 在重度胁迫下, ‘翠鸟’玉簪叶片叶绿素与蜡质较少致使其叶片蓝绿色变浅。

References

- Bi H, Kovalchuk N, Langridge P, Tricker P J, Lopato S, Borisjuk N. 2017. The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. *BMC Plant Biology*, 17 (1): 85.
- Dai Hui, Fang Yan-ming, Li Bin, Zhang Min. 2014. Research review and prospect of *Hosta* species. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 41 (3): 37 - 41. (in Chinese)
- 代 慧, 方炎明, 利 斌, 张 敏. 2014. 玉簪属植物研究概况与展望. *江苏林业科技*, 41 (3): 37 - 41.
- Grenfell D. 1996. *The gardener's guide to growing Hosta*. Portland, Oregon: Timber Press.
- Guan Meng-qian, Dong Ran. 2013. Research progress and garden application of *Hosta* species. *Northern Horticulture*, (19): 182 - 185. (in Chinese)
- 关梦茜, 董 然. 2013. 玉簪属植物研究进展及园林应用. *北方园艺*, (19): 182 - 185.
- Guo Yan-jun, Guo Yun-jiang, Tang Hua, Li Zhi-yan, Han Long. 2011. Ultraviolet radiation and soil drought stress on alfalfa effects of leaf crystal structure and content on leaf epidermis. *Acta Prataculturae Sinica*, 20 (6): 77 - 84. (in Chinese)
- 郭彦军, 郭芸江, 唐 华, 李智燕, 韩 龙. 2011. 紫外线辐射与土壤干旱胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质晶体结构及含量的影响. *草业学报*, 20 (6): 77 - 84.
- Huang Ling, Zhang Zheng-bin, Cui Yu-ting, Liu Meng-yu, Chai Shou-xi, Chen Zhao-bo. 2003. Relationship between wax content and water use efficiency of leaf and yield in wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 23 (3): 41 - 44. (in Chinese)
- 黄 玲, 张正斌, 崔玉亭, 刘孟雨, 柴守玺, 陈兆波. 2003. 小麦叶片蜡质含量与水分利用效率和产量的关系. *麦类作物学报*, 23 (3): 41 - 44.
- Islam M A, Du H, Ning J, Ye H Y, Xiong L Z. 2009. Characterization of *Glossy1*-homologous genes in rice involved in leaf wax accumulation and drought resistance. *Plant Mol Biol*, 70 (4): 443 - 456.
- Jenks M A, Gaston C H, Goodwin M S, Keith J A, Teusink R S. 2002. Seasonal variation in cuticular waxes on *Hosta* genotypes differing in leaf surface glaucousness. *HortScience*, 37 (4): 673 - 677.

- Kosma D K, Bourden X B, Bernard A L, Parsons E P, Lü S, Joubès J, Jenks M A. 2009. The impact of water deficiency on leaf cuticle lipids of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 151 (4): 1918 – 1929.
- Li De-lu, Liu Shi-zheng, Kang Cai-zhou, Yan Zi-zhu, Man Duo-qing, Liu You-jun, Li Yin-ke. 2015. Characteristics of fluorescence parameters of two species of picea in water stress. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 29 (6): 117 – 121. (in Chinese)
- 李得禄, 刘世增, 康才周, 严子柱, 满多清, 刘有军, 李银科. 2015. 水分胁迫下云杉属两种植物荧光参数特征研究. *干旱区资源与环境*, 29 (6): 117 – 121.
- Macherius A, Kuschik P, Haertig C, Moeder M, Perez P, Shtemenko N I, Bayona A H, Guerrero H, Gey M. 2001. Composition changes in the cuticular surface lipids of the helophytes *Phragmites australis* and *Juncus effuses* as result of pollutant exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 18 (5): 727 – 733.
- Mo Wei-ping, Yan Ting-ting, Cui Chun-mei, Wang Bo-qian, Xing Si-nian, Jia Wen-suo, Liu Guo-jie. 2015. Effects of water stress on photochemical efficiency of PS II and light energy allocation in *Vitis vinifera* Kyoho grape. *Journal of China Agricultural University*, 20 (3): 59 – 64. (in Chinese)
- 莫伟平, 严婷婷, 崔春梅, 王博茜, 邢思年, 贾文锁, 刘国杰. 2015. 水分胁迫对巨峰葡萄叶片 PS II 光化学效率及光能分配的影响. *中国农业大学学报*, 20 (3): 59 – 64.
- Qi C H, Jiang H, Zhao X Y, Mao K, Liu H T, Li Y Y, Hao Y J. 2019. The characterization, authentication, and gene expression pattern of the *MdCER* family in *Malus domestica*. *Horticultural Plant Journal*, 5 (1): 1 – 9.
- Riederer M, Schneider G. 1990. The effect of the environment on the permeability and composition of citrus leaf cuticles. *Planta*, 180 (2): 154 – 165.
- Samuels L, Kunst L, Jetter R. 2008. Sealing plant surfaces: cuticular wax formation by epidermal cells. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 683 – 707.
- Shi Ai-ping, Zhang Jin-zheng, Zhang Qi-xiang, Shi Lei. 2004. Growth characteristic analyse of shading levels on four cultivars. *Bulletin of Botanical Research*, 24 (4): 486 – 490. (in Chinese)
- 施爱萍, 张金政, 张启翔, 石 雷. 2004. 不同遮荫水平 4 个玉簪品种的生长性状分析. *植物研究*, 24 (4): 486 – 490.
- Wang Qiu-ping, Gong Jia-shun, Zou Sha-sha. 2010. Relationship between color change and quality of Pu-erh tea during fermentation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26 (Supp 1): 394 – 399. (in Chinese)
- 王秋萍, 龚加顺, 邹莎莎. 2010. 普洱茶发酵阶段色泽的变化及其与品质的关系. *农业工程学报*, 26 (增刊 1): 394 – 399.
- Wei Bin, Chen Qi-xin. 1996. The method of using colorimetric theory to improve the visual perception of map color. *Journal of PLA Institute of Surveying and Mapping*, 13 (1): 50 – 54. (in Chinese)
- 魏 斌, 陈启鑫. 1996. 运用色度学理论提高地图颜色视觉感受的方法. *解放军测绘学院学报*, 13 (1): 50 – 54.
- Wu Hong-qi, Luo Wen-Qiao, Zhao Shuai, Wang Cong, Ni Zhen, Zhu Hao, Niu Yan-lu, Wang Yong, Wang Zhong-hua, Quan Li. 2017. Effect of drought stress on wax accumulation in leaves of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Northwest A & F University (Nat Sci Ed)*, 45 (7): 73 – 80. (in Chinese)
- 吴洪启, 罗文巧, 赵 帅, 王 聪, 倪 震, 朱 浩, 牛艳璐, 汪 勇, 王中华, 权 力. 2017. 干旱胁迫对番茄叶片蜡质积累的影响. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 45 (7): 73 – 80.
- Ye Xiao-li, Li Xue-gang, Chen Shi-hong. 2000. Effect of surfactants on stomatal and waxy layer of soybean leaves. *Soybean Science*, 19 (1): 49 – 56. (in Chinese)
- 叶小利, 李学刚, 陈时洪. 2000. 表面活性剂对大豆叶面气孔和蜡质层影响研究. *大豆科学*, 19 (1): 49 – 56.
- Zilis M R. 2000. The *Hosta* handbook. Rochelle IL: Q & Z Nursery: 18 – 19.
- Zhu Shuang-yan, Qi Jun-cang, Liao Le, Lin Li-hao, Hui Hong-shan, Hua Miao-yuan. 2015. PEG-6000 simulated barley seedling leaves under water stress study on the relationship between epidermal wax deposition and membrane lipid peroxidation. *Jiangsu Agricultural Science*, 43 (5): 89 – 92. (in Chinese)
- 朱双艳, 齐军仓, 廖 乐, 林立昊, 惠宏杉, 华淼源. 2015. PEG-600 模拟水分胁迫下大麦幼苗叶片表皮蜡质沉积与膜脂过氧化的关系研究. *江苏农业科学*, 43 (5): 89 – 92.