

水分条件对陕西安康地区枇杷幼果期生理的影响

张任凡, 樊美丽, 魏凌云, 鲁周民*

(西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为研究不同水分条件对幼果期枇杷生理代谢的影响, 以冬春季干旱的陕西安康地区(枇杷自然分布的北缘地区)14年生‘长崎早生’枇杷为材料, 从2013年8月底(现蕾期)开始, 分别每株树灌水0、10、20、30、40 kg, 每月1次, 共灌水5次, 于2014年1月底采集叶片和幼果进行生理指标测定。结果显示, 幼果期枇杷叶片总叶绿素和可溶性蛋白质含量随着灌水量的增加呈现先上升后下降趋势; MDA和可溶性糖含量以及PAL活性在叶片和幼果中均随着灌水量的增加而逐渐降低; 脯氨酸含量和SOD活性均随着灌水量的增加呈现下降趋势; 相对电导率的变化差异不明显。试验表明, 当灌水量30 kg时, 可使土壤水分保持在22.2%左右, 有利于幼果期枇杷的生长。

关键词: 枇杷; 土壤水分; 幼果期; 生理指标; 抗逆性

中图分类号: S 667.3

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 04-0778-07

Effects of Moisture Conditions on the Physiological Indexes of Young-fruit Stage Loquat in North Marginal Area

ZHANG Ren-fan, FAN Mei-li, WEI Ling-yun, and LU Zhou-min*

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 14-year-old loquat cultivar (Changqi Zaosheng) that grew in Ankang of Shaanxi Province were used as experiment materials to study the physiological changes at young fruit stage under different moisture conditions in North-cultivated-marginal area. Irrigating each tree with different amount (0, 10, 20, 30, 40 kg) started from the end of August, 2013 (budding stage), and once per month. The sample of leaves and young fruits was gathered in the end of January, 2014 to measure physiological indicators. The result showed that the content of chlorophyll and soluble protein content decreased after the first rise, PAL activity and content of MDA and SS decreased, Pro content and SOD activity increased after the first fall with increasing irrigation amount; There was no significant change on relative conductivity. Research suggested that 30 kg maintained soil moisture at about 22.2% is ideal for loquat growth in North-cultivated-marginal area.

Key words: loquat; moisture condition; young fruit stage; physiological indicators; resilience

冬、春两季是枇杷开花和幼果发育的关键时期, 此时树体的营养状况、生理代谢与果实生长发育和产量密切相关。近年来有关土壤水分以及干旱胁迫对枇杷生理的影响研究报道较多(罗华建和

收稿日期: 2015-01-29; 修回日期: 2015-04-01

基金项目: 杨凌示范区农业科技示范推广能力提升项目(2014-TS-19); 财政部“以大学为依托的农业科技推广模式建设”项目(XTG2014015)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: lzm@nwsuaf.edu.cn)

刘星辉, 1999a, 1999b, 2004; 黄晓霞 等, 2011), 但都是用枇杷小苗进行盆栽试验, 而大田土壤水分对枇杷大树生理代谢的影响未曾涉及。

陕西安康地处秦巴山区, 属典型的北亚热带气候, 是中国枇杷自然分布的北缘地区。近年来该地区降雨量减少, 特别是冬春季干旱严重, 导致枇杷花期和幼果期水分亏缺, 影响果实的产量和品质。

本试验中以安康当地大田环境下的 14 年生枇杷为试材, 通过在一定时间段给予不同的灌水量处理, 研究幼果期的生理代谢变化, 旨在探索水分条件与枇杷生理代谢的关系, 为节水灌溉及丰产栽培技术提供理论和技术参考。

1 材料与方法

试验设在西北农林科技大学安康北亚热带果树试验站, 试验区海拔 350 ~ 370 m, 年均气温 15.5 °C, 年降水量 1 000 mm, 无霜期 253 d, 土壤为黄棕壤砂质土。枇杷园位于东南向梯田坡地, 栽植株行距为 3 m × 4 m。枇杷品种为 ‘长崎早生’, 长势基本一致, 14 年生。在整个试验过程中, 除进行不同灌水量处理外, 试材采用统一的栽培管理方式, 不考虑降雨影响, 但记录降雨情况。试验期间分别在 2013 年 9 月 26 日、10 月 14—15 日、10 月 29—31 日、11 月 7—9 日、11 月 11—12 日和 11 月 22—23 日有间断性小雨, 总降雨量 160 mm 左右。

选取位于同一坡度和坡向且长势一致的枇杷树 15 株, 对每株树以主干为中心做直径 2 m 的树盘。从 2013 年 8 月 26—30 日枇杷现蕾期开始, 在每个月 26—30 日进行灌水处理。设 10、20、30、40 kg 灌水量处理, 以不灌水为干旱胁迫对照。每个处理 3 株树, 灌溉面积为树盘面积。灌水 5 次后, 于 2014 年 1 月 25 日测定距树干 50 cm 左右地面以下 15 ~ 20 cm 土层中土壤水分, 并采集叶片和幼果样品。叶片均采自树冠外围当年生枝条顶端第 1 片叶, 每株 4 ~ 6 片; 幼果从树冠外围采, 每株采 10 个。所采样品当天运回实验室, 取部分样品测定水分和相对电导率, 其余放入 4 °C 冰箱中保存, 次日用液氮研磨, 测定生理指标。

土壤含水量用 SK-100 型土壤水分仪测定; 叶片含水量采用烘干称质量法; 相对电导率用 TM-03 笔形电导率仪测定 (孙秉钧 等, 1987)。丙二醛 (MDA) 含量测定用硫代巴比妥酸法 (赵世杰 等, 1994; Hodges et al., 1999); 可溶性蛋白质含量测定参照 Bradford 等 (1983) 的方法; 可溶性糖含量测定用蒽酮比色法 (Renaut et al., 2004); 游离脯氨酸含量测定用茚三酮显色法 (Bates et al., 1973); 总叶绿素总量测定参照杨振德 (1996) 的方法; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定参照 Dagmar 等 (2001) 的方法; 苯丙氨酸解氨酶 (PLA) 活性测定参照李合生和孙群 (2000) 的方法。

运用 SPSS 19.0 进行方差分析 (ANOVA), 采用最小显著差异法 (LSD) 进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 灌水量对土壤水分、叶片含水量及总叶绿素含量的影响

由图 1 可见, 土壤含水量随灌水量的增加而增加。灌水量为 30 kg 时, 土壤相对含水量达到 22.5%, 与灌水 20 和 40 kg 时差异不显著, 比灌水 10 kg 和不灌水时分别增加了 2.2% 和 2.7% ($P < 0.05$)。叶片含水量的变化与土壤含水量呈相同趋势, 灌水量为 30 kg 时, 叶片含水量达到 64.87%, 显著高于对照和灌水 10 kg 处理 ($P < 0.05$), 与灌水量 20 和 40 kg 处理差异不显著。

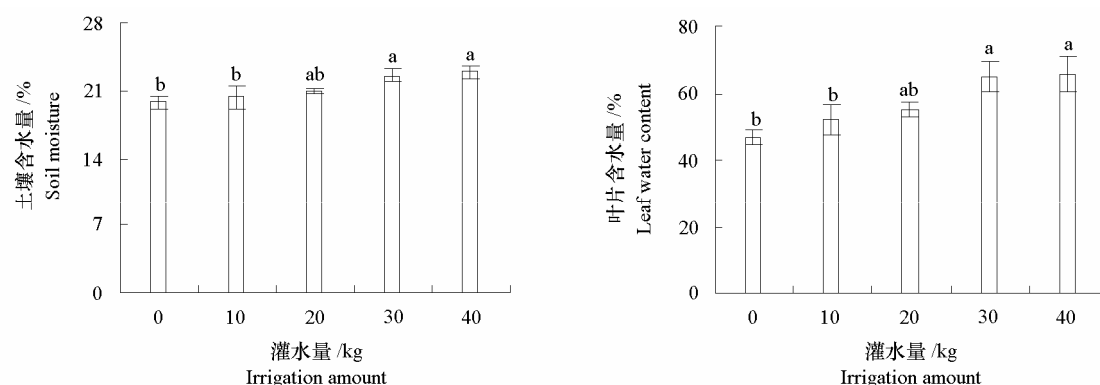


图1 不同水分条件对土壤含水量和叶片含水量的影响

Fig. 1 Effects of moisture conditions on the content of soil and leaf water

图2中, 幼果期叶片总叶绿素含量随灌水量的增加大体呈先上升后下降趋势, 在灌水量30 kg时达到最大值(783.43 ± 22.09) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 在灌水40 kg时有所下降, 但仍比对照处理增加15.33%, 说明干旱条件不利于植物光合作用; 适宜水分有利于促进植物光合作用; 灌水过多时叶绿素含量降低, 光合作用受抑制。

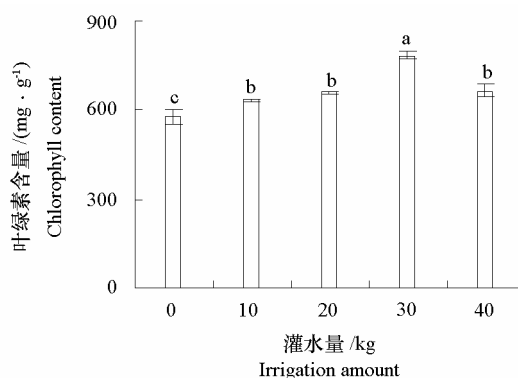


图2 不同水分条件对叶片总叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of moisture conditions on chlorophyll content

2.2 灌水量对相对电导率和MDA含量的影响

幼果期枇杷叶片和幼果的相对电导率各处理间无显著差异(图3, A), 这可能是因为当年气温以及土壤水分条件未达到使植物组织受损伤的程度。

枇杷幼果期叶片和幼果MDA含量随灌水量的增加整体呈下降趋势(图3, B)。在灌水量30 kg时, 叶片MDA含量值为(10.84 ± 1.28) $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 比对照降低了33.98% ($P < 0.05$), 其余各处理与对照均无明显差异; 幼果中MDA含量为(9.27 ± 0.83) $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 显著低于对照。由此可知, 枇杷幼果期受到不同程度的干旱胁迫, 体内MDA会随之增加, 从而对生长发育有一定抑制作用。

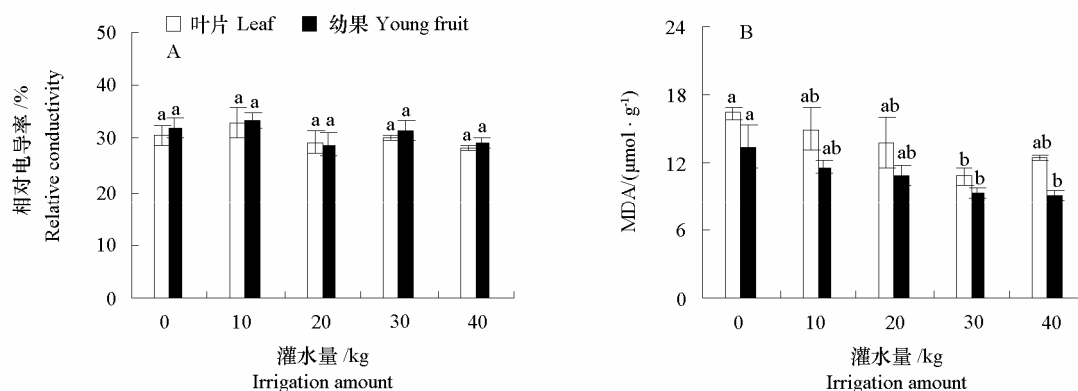


图3 不同水分条件下叶片和幼果的相对电导率(A)及MDA含量(B)

Fig. 3 Effects of moisture conditions on relative conductivity (A) and MDA content (B) of loquat leaf and fruit

2.3 灌水量对可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量的影响

在干旱胁迫条件下, 植物组织中可溶性糖作为渗透调节物质发挥保水抗旱作用, 同时作为脱水保护物质稳定酶活性, 保护膜结构(路苹等, 1996)。图4中, 幼果期枇杷叶片和幼果组织内的可溶性糖含量随灌水量的增加总体呈下降趋势, 叶片中含量高于幼果。灌水量40 kg时, 叶片中可溶性糖含量为 $(19.18 \pm 1.71) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 显著低于对照($P < 0.05$), 说明干旱胁迫时, 植物可溶性糖含量显著增加, 可有一定的保护作用。

植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与调节代谢的酶类, 另有一些可能起到脱水保护剂的作用, 能够为细胞内的束缚水提供结合衬质, 以增加植物组织束缚水含量(史玉炜等, 2007)。从图5, A可以看出, 幼果期枇杷叶片和幼果的可溶性蛋白质含量随灌水量的增加均呈现先上升后下降趋势, 各处理的可溶性蛋白质含量显著高于对照($P < 0.05$)。灌水30 kg时, 叶片和幼果中可溶性蛋白质含量达到最大值。幼果中可溶性蛋白质含量均显著大于叶片中的($P < 0.05$)。

脯氨酸是细胞质中重要的渗透剂和防脱水剂, 能降低细胞渗透势, 提高植物组织的持水力, 对植物体内的酶和膜有保护作用(马宗仁, 1994)。幼果期枇杷叶片和幼果中脯氨酸含量随灌水量的增加呈下降趋势, 各处理的脯氨酸含量显著低于对照($P < 0.05$), 幼果中脯氨酸含量显著高于叶片中脯氨酸含量(图5, B), 这可能是因为幼果期气候寒冷, 幼果对低温的敏感程度高于叶片, 脯氨酸含量较高从而起到保护幼果免受冷害的作用, 植物体内脯氨酸对不同水分条件的反应比较敏感, 当植物受到不同程度干旱胁迫时, 脯氨酸含量会有所增加, 能够及时起到保水抗旱的作用。

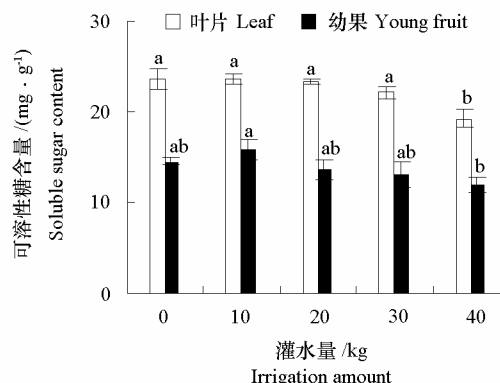


图4 不同水分条件下叶片和幼果的可溶性糖含量

Fig. 4 Effects of moisture conditions on the content of SS of loquat leaf and fruit

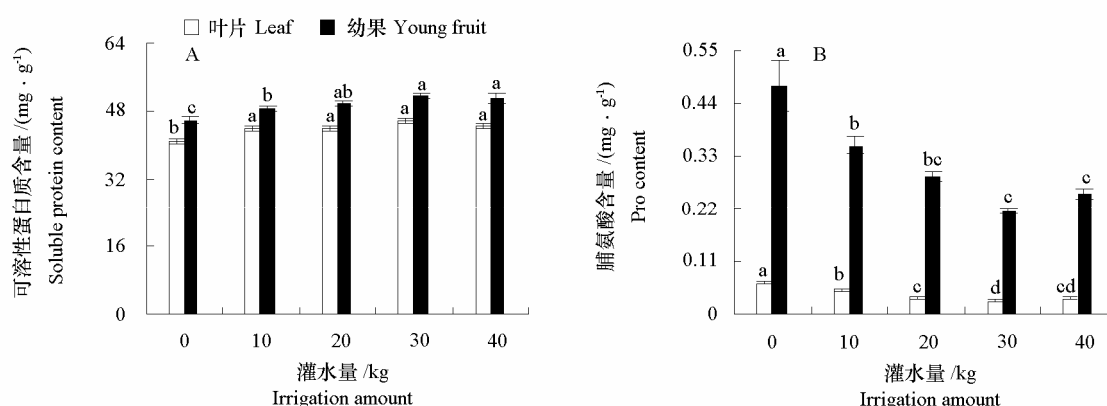


图5 不同水分条件下叶片和幼果的可溶性蛋白质(A)和脯氨酸(B)含量

Fig. 5 Effects of moisture conditions on the content of SP (A) and Pro (B) of loquat leaf and fruit

2.4 灌水量对SOD和PAL活性的影响

幼果期叶片和果实中SOD活性随灌水量的增加呈下降趋势(图6, A), 当灌水量为20 kg以上时, 显著低于对照和10 kg灌水量处理; 幼果中SOD活性显著高于叶片($P < 0.05$)。

PAL 是苯丙烷途径的关键酶和限速酶,对木质素、植保素、类黄酮、花青素等次生物质的形成起重要的调节作用(Leng et al., 1995),许多植物在遭受逆境时 PAL 活性迅速上升(Bufler & Bangerth, 1982)。由图 6, B 可以看出,幼果期枇杷叶片和果实中 PAL 活性随灌水量的增加总体呈下降趋势,灌水量达到 30 和 40 kg 时,均显著低于对照 ($P < 0.05$)。叶片中 PAL 活性整体大于幼果。由此可知,枇杷受到干旱胁迫时,组织内 PAL 活性增加。

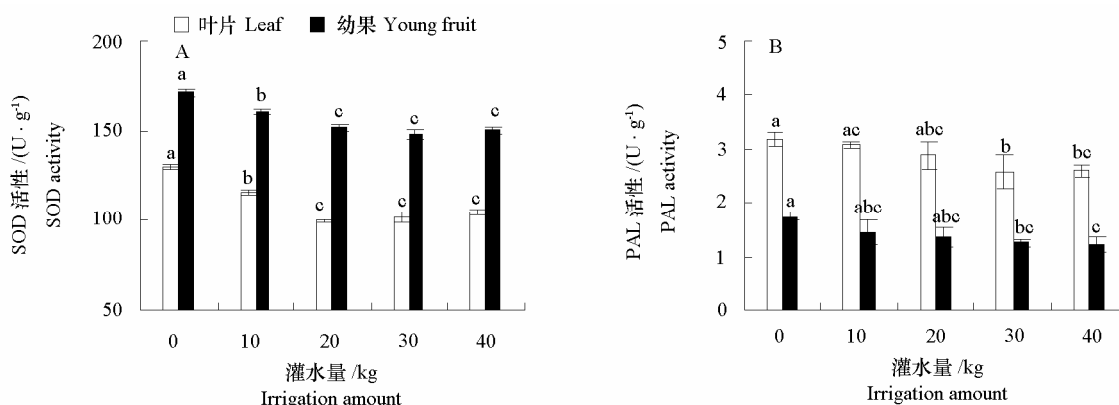


图 6 不同水分条件对叶片和幼果的 SOD (A) 和 PAL (B) 活性的影响
Fig. 6 Effects of moisture conditions on the activity of SOD (A) and PAL (B)

3 讨论

近年来安康地区降雨减少,在不灌水(对照)的情况下,枇杷园地土壤含水量仅为 19.8%,枇杷受到一定程度的干旱胁迫。本结果显示,不灌水时,叶片含水量为最低值,反映了当时状态下叶片水分最少,枇杷总叶绿素含量和可溶性蛋白质含量随着灌水量的增加呈上升趋势;MDA 和可溶性糖含量以及 PAL 活性在叶片和幼果中均随着灌水量的增加而逐渐降低;脯氨酸含量和 SOD 活性均随着灌水量的增加呈现下降趋势;在不同处理间,相对电导率的变化差异不明显。本试验结果表明,当灌水量 30 kg 时,土壤含水量保持在 22.2%左右,此时,幼果期枇杷叶片和果实各项生理指标维持在一个较理想的范围。

已有大量研究(陈志辉等, 1992; 王颖等, 2011)表明,干旱胁迫能够抑制植物光合作用。马怀宇等(2012)在对苹果叶片光合功能的研究中指出,叶绿素含量下降幅度与干旱胁迫程度正相关。从本试验结果可知,枇杷遭受干旱时总叶绿素含量达最低值,并且随着灌水量的增加而含量增加,说明干旱抑制了枇杷的光合作用,这与罗华健等(1999b)的研究结果一致。

在胁迫条件下,植物体可合成大量的渗透调节物质,如可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸等。本试验结果显示,在干旱状态下,枇杷体内的可溶性糖和脯氨酸含量均较高,且随着灌水量的增加呈现下降趋势,说明在干旱胁迫下,枇杷会启用自我保护机制,合成大量的可溶性糖和脯氨酸等物质来维持细胞正常膨压,使自身能够抵御干旱胁迫,这与王晓玲(2008)、罗华健和刘星辉(2004)的研究结果一致。前人对于水分胁迫下植物体内可溶性蛋白质含量的变化有不同结论,与研究的植物种类不同有关。史玉伟等(2007)在对刚毛怪柳的研究中指出,随着干旱胁迫程度的增加,可溶性蛋白质含量有大幅度升高,而在胁迫超出其承受极限时含量下降。罗华健和刘星辉(2004)在研究水分胁迫对枇杷生理代谢的影响中指出,干旱胁迫下可溶性蛋白质含量下降,可能原因有:(1)蛋白酶活性增强致使蛋白质水解加剧;(2)膜脂过氧化加剧及 RNA 含量减少等,使蛋白质合成受

抑制。本试验中可溶性蛋白质含量的变化与罗华健和刘星辉（2004）的研究结果一致。

本试验中丙二醛在干旱状态下积累最多，而在土壤水分增多时逐渐减少，说明干旱胁迫使枇杷体内发生膜质过氧化作用，从而对枇杷组织造成伤害。本研究结果显示，处于干旱状态时枇杷体内 SOD 活性升高，能够清除多余的活性氧，从而保护植物体免受伤害。这与梁玉芹等（2010）在黄瓜和王琰等（2012）在油松中的研究结果一致。目前关于干旱胁迫下 PAL 活性的研究结果不尽一致。秦鑫等（1985）研究指出，干旱胁迫下小麦和玉米 PAL 的变化因作物种类和品种而不同。汪贵斌和曹福亮（2007）指出，在土壤水分供应不足时，落羽杉叶片 PAL 活性均显著下降。本研究结果表明，在土壤水分亏缺时，枇杷 PAL 活性升高，说明 PAL 有助于提高枇杷的抗逆能力。

References

- Bates L S, Waldren R P, Teare I D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39 (1): 205 - 207.
- Bradford K J, Sharkey T D, Farquhar G D. 1983. Gas exchange, stomatal behavior, and $\delta^{13}\text{C}$ values of the flacca tomato mutant in relation to abscisic acid. *Plant Physiology*, 72 (1): 245 - 250.
- Bufler G, Bangerth F. 1982. UV-induced peroxidase and phenylalanine ammonia lyase activity and phaseolin accumulation in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. in relation to ethylene. *Plant Science Letters*, 25 (2): 227 - 237.
- Chen Zhi-hui, Zhang Liang-cheng, Wu Guang-lin, Zhang Shang-long. 1992. Photosynthesis of citrus under water stress. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 18 (2): 60 - 66. (in Chinese)
- 陈志辉, 张良诚, 吴光林, 张上隆. 1992. 水分胁迫对柑桔光合作用的影响. *浙江农业大学学报*, 18 (2): 60 - 66.
- Dagmar P, Sairam R K, Srivastava G C, Singh D. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161 (1): 765 - 771.
- Hodges D M, DeLong J M, Forney C F, Prange R K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207 (4): 604 - 611.
- Huang Xiao-xia, Zuo Ren-ying, Cheng Xiao-mao. 2011. Effect of soil drought on physiological metabolism of *Eriobotrya japonica* seedlings. *Journal of Anhui Agri Sci*, 39 (17): 10247 - 10248. (in Chinese)
- 黄晓霞, 左任英, 程小毛. 2011. 土壤干旱对枇杷幼苗生理代谢的影响. *安徽农业科学*, 39 (17): 10247 - 10248.
- Leng P, Itamura H, Yamamura H. 1995. Changes of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in twig tissues of two *Diospyros* species during cold acclimation. *Environment Control in Biology (Japan)*, 33 (1): 43 - 48.
- Li He-sheng, Sun Qun. 2000. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiments. Beijing: Higher Education Press: 164 - 169. (in Chinese)
- 李合生, 孙 群. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 164 - 169.
- Liang Yu-qin, Liu Zi-hui, Cao Cai-xia, Liu Yun, Guo Xiu-lin, Song Bing-yan. 2010. Correlations between physiological and biochemical changes and drought resistance under water stress. *North Agricultural Sciences*, 25 (S): 105 - 108. (in Chinese)
- 梁玉芹, 刘子会, 曹彩霞, 刘 云, 郭秀林, 宋炳彦. 2010. 水分胁迫下黄瓜生理生化的变化与抗旱性的关系. *华北农学报*, 25 (增刊): 105 - 108.
- Lu Ping, Chai Li-na, Liu Zong-ping, Yu Tong-quan, Di Yi-an. 1996. Preliminary study on change of soluble polyaccharide and its relationships with drought resistance in winter wheat seedlings under water stress. *Journal of Beijing Agricultural College*, 11 (2): 13 - 18. (in Chinese)
- 路 苹, 柴丽娜, 刘宗萍, 于同泉, 狄一安. 1996. 水分胁迫下小麦幼苗可溶性低聚糖特征表现与抗旱性关系初探. *北京农学院学报*, 11 (2): 13 - 18.
- Luo Hua-jian, Liu Xing-hui. 1999a. Effects of water stress on activated oxygen metabolism in loquat leaves. *Journal of Fujian Agricultural University*, 28 (1): 33 - 37. (in Chinese)
- 罗华建, 刘星辉. 1999a. 水分胁迫对枇杷叶片活性氧代谢的影响. *福建农业大学学报*, 28 (1): 33 - 37.
- Luo Hua-jian, Liu Xing-hui. 1999b. Effects of water stress on photosynthesis in loquat trees. *Journal of Fruit Science*, 16 (2): 126 - 130. (in Chinese)

- 罗华建, 刘星辉. 1999b. 水分胁迫对枇杷光合特性的影响. *果树科学*, 16 (2): 126 - 130.
- Luo Hua-jian, Liu Xing-hui. 2004. Changes of several physiological determinations in loquat leaves under water stress. *Subtropical Plant Science*, 33 (1): 19 - 21. (in Chinese)
- 罗华建, 刘星辉. 2004. 水分胁迫条件下枇杷若干生理指标的变化. *亚热带植物科学*, 33 (1): 19 - 21.
- Ma Huai-yu, Lü De-guo, Liu Guo-cheng, Qin Si-jun, Kang Li-quan. 2012. Effects of different irrigation modes on the photosynthetic function and antioxidant enzyme activities of 'Hanfu' apple leaves. *Chinese Journal of Ecology*, 31 (10): 2534 - 2540. (in Chinese)
- 马怀宇, 吕德国, 刘国成, 秦嗣军, 康立权. 2012. 不同灌水方式对'寒富'苹果叶片光合功能和抗氧化酶活性的影响. *生态学杂志*, 31 (10): 2534 - 2540.
- Ma Zong-ren. 1994. Study on free proline accumulation of seedling in many species of plant under water stress. *Pratacultural Science*, 11 (1): 15 - 18. (in Chinese)
- 马宗仁. 1994. 植物在水分胁迫下脯氨酸积累的研究: 关于植物体内脯氨酸积累的直接触发. *草业科学*, 11 (1): 15 - 18.
- Qin Xin, Shi Lan-xin, Yang Dan-hui. 1985. Changes in L-phenylalanine ammonia-lyase activity in plants under water stress. *Journal of Lanzhou University: Natural Science*, 21 (S1): 18 - 21. (in Chinese)
- 秦鑫, 石兰馨, 杨丹慧. 1985. 水分胁迫下植物L-苯丙氨酸解氨酶活性变化的研究. *兰州大学学报: 自然科学版*, 21 (增刊 1): 18 - 21.
- Renaut J, Lutts S, Hoffmann L. 2004. Responses of poplar to chilling temperatures: Proteomic and physiological aspects. *Plant Biology*, 6 (1): 81 - 90.
- Shi Yu-wei, Wang Yan-ling, Li Wen-bing. 2007. Effects of water stress on soluble protein, soluble sugar and proline content in *Tamarix hispida*. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 30 (2): 5 - 8. (in Chinese)
- 史玉伟, 王燕凌, 李文兵. 2007. 水分胁迫对刚毛柽柳可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量变化的影响. *新疆农业大学学报*, 30 (2): 5 - 8.
- Sun Bin-jun, Huang Li-sen, Li Shu-ling, Pu Fu-shen. 1987. Cold hardiness of pear measured by electric conductivity method. *China Fruits*, (1): 15 - 18. (in Chinese)
- 孙秉钧, 黄礼森, 李树玲, 蒲富慎. 1987. 利用电解质渗出率方法测定梨的耐寒性. *中国果树*, (1): 15 - 18.
- Wang Gui-bin, Cao Fu-liang. 2007. Effects of soil salt and water stress on enzymes activity of the leaf of baldcypress. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 30 (6): 32 - 36. (in Chinese)
- 汪贵斌, 曹福亮. 2007. 土壤盐分和水分胁迫对落羽杉叶片中几种酶活性的影响. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 30 (6): 32 - 36.
- Wang Xiao-ling. 2008. Effects of water stress on proline content of sesame flowering. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 13 (20): 66 - 67. (in Chinese)
- 王晓玲. 2008. 水分胁迫对芝麻花期脯氨酸含量的影响. *安徽农学通报*, 13 (20): 66 - 67.
- Wang Ying, Li Xiao-tong, Fan Yang-yang, Liu Xi-ping. 2011. Effects of different mode of irrigation to the photosynthetic characteristics of pear-jujube trees in florescence. *Irrigation and Drainage*, 30 (2): 111 - 114. (in Chinese)
- 王颖, 李晓彬, 范阳阳, 刘西平. 2011. 不同水分处理对梨枣花期光合特性影响研究. *灌溉排水学报*, 30 (2): 111 - 114.
- Wang Yan, Chen Jian-wen, Di Xiao-yan. 2012. A comparative study on the SOD, POD, MDA and dissoluble protein of six provenances of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) under water stress. *Ecology and Environmental Sciences*, 20 (10): 1449 - 1453. (in Chinese)
- 王琰, 陈建文, 狄晓艳. 2012. 水分胁迫下不同油松种源 SOD, POD, MDA 及可溶性蛋白比较研究. *生态环境学报*, 20 (10): 1449 - 1453.
- Yang Zhen-de. 1996. Studies on the determination of chlorophyll content by spectrophotometric method. *Guangxi Agricultural University*, 15 (2): 145 - 150. (in Chinese)
- 杨振德. 1996. 分光光度法测定叶绿素含量的探讨. *广西农业大学学报*, 15 (2): 145 - 150.
- Zhao Shi-jie, Xu Chang-cheng, Zou Qi, Meng Qing-wei. 1994. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues. *Plant Physiology Communications*, 30 (3): 207 - 210. (in Chinese)
- 赵世杰, 许长城, 邹琦, 孟庆伟. 1994. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. *植物生理学通讯*, 30 (3): 207 - 210.