

限根节水对苹果叶片荧光特性和产量、品质的影响

曹 慧^{1,2}, 徐文娟¹, 邹岩梅², 束怀瑞²

(1. 潍坊学院, 山东省高校生物化学与分子生物学重点实验室, 山东 潍坊 261061;

2. 国家苹果工程技术研究中心, 山东 泰安 271018)

摘 要:以早熟苹果品种“嘎啦”和晚熟苹果品种“富士”为试材,研究了限根节水对苹果叶片荧光特性和果实产量、品质的影响。结果表明:在整个处理期内限根节水处理均使“嘎啦”和“富士”叶绿素含量高于对照水平;在盛果期灌水后期,限根节水处理叶绿素荧光参数 F_v/F_o 、 F_v/F_m 、 $\Phi PSII$ 、 qP 、 NPQ 和 ETR 值均不同程度高于对照水平,说明限根节水处理显著提高了苹果叶片光化学活性,提高了水分利用率,使果实产量、品质提高。

关键词:节水;限根;苹果;叶绿素荧光;产量品质

中图分类号:S 661.105 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)01-0001-05

世界性水资源短缺与潜在危机已成为不争的事实^[1],近年果树栽培在山区丘陵等地迅速发展,果树节水种植已是我国果树生产者必须正视和切实解决的重大问题^[2]。因此,在果树栽培生产中,研究推广科学高效的节水技术至关重要^[3]。限根栽培将植物的根系限制在一定范围内^[4],对整个植株进行调控,是实现果树优质、高产的一项调控根系生长环境的节水栽培技术^[5]。MYERS 通过试验证明了根域限制可减少苹果根系冗余生长,影响干物质积累规律,最终使得果实品质得以提高^[5]。该试验以“嘎啦”和“富士”为试验材料,将“埋砖限根”技术引入到果树节水栽培中,通过研究限根节水处理对“嘎啦”和“富士”叶片荧光特性和果实产量品质的影响,从而指导果园合理节水灌水,提高果树水分利用效率以及产量和品质,旨在为果树产业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为树龄 13 年的“嘎啦”和“富士”,选择树势生长条件基本一致的苹果树各 3 335 m²。果园地势

平坦,通风透光性良好,株行距为 3 m×4 m,树势中庸,砧木一致,生长发育良好,无大小年现象。

1.2 试验方法

试验于 2013—2014 年在山东省潍坊市寒亭区果树研究协会实验基地进行。限根节水处理:行间成沟,规格为 70 cm×70 cm,沟底部位埋砖 4 层,每层 4 块立式埋放,各砖块间填充混匀的土和有机肥。处理按灌溉期灌水,即每年灌溉 4 次(萌芽期、新梢旺长期、幼果期、果实膨大期);以果园平时正常灌溉和管理为对照(CK),即每年灌溉 6 次(萌芽期、新梢旺长期、幼果期、果实膨大期灌溉 2 次、封冻水)。每个试验区随机抽取果树 5 株,每株果树于东、西、南、北 4 个方位分别选择健康、无病害、功能健全的叶片和果实进行各项生理指标测定。于 4 月 28 日、5 月 8 日、5 月 28 日、6 月 28 日、7 月 18 日测定叶绿素含量;于果树盛果期灌溉后第 15 天开始进行荧光动力学参数的实时测定;从 8 月中旬(即花后 110 d 左右)至 10 月下旬(即花后 170 d 左右),每隔 15 d 采果 1 次,测定果实单果重、果形指数、果实硬度和可溶性固形物含量。

1.3 项目测定

叶绿素含量参照侯福林^[6]的方法测定。叶绿素荧光参数的测定采用德国 Walz 公司生产的 Imaging-PAM 调制荧光成像系统,实时检测苹果叶片叶绿素荧光诱导动力学参数初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、实际光合量子产量($\Phi PSII$)、表观光合电子传递速率(ETR)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(NPQ)等,并计算相关可变荧光参数 $F_v = F_m - F_o$,最大光化学效率 $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$,测定前暗适应 20 min^[7];采用称重法进行单果重的测定;采用数码游标卡尺测定果实纵横径计算果形指数;果实中可溶性固形物含量采用 Pocket refractome-

第一作者简介:曹慧(1966-),女,山西太谷人,博士,教授,现主要从事果树逆境生理与分子生物学等研究工作。E-mail:hui5232@163.com.

责任作者:束怀瑞(1929-),男,山东淄博人,教授,博士生导师,中国工程院院士,现主要从事果树栽培生理与生产的教学科研及推广等工作。E-mail:hrshu@sdaui.edu.cn.

基金项目:国家现代苹果产业技术体系资助项目(CAR-28);山东省科学技术发展计划资助项目(2011GNC11201)。

收稿日期:2015-09-25

ter PAL-1 测定;果实硬度采用 SupNIR-1100 便携式近红外分析仪测定;可溶性糖、有机酸、多酚类等物质含量采用美国戴安 Ultimate3000 分析型高效液相色谱仪测定。随机采样,3 次重复,试验结果进行生物学统计分析。

1.4 数据分析

试验数据采用 SAS 统计软件进行统计分析,用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 限根节水对不同品种苹果叶片叶绿素含量的影响

由图 1、2 可以看出,整个测定时期内,“嘎啦”和“富士”2 个苹果品种叶绿素含量均呈现上升趋势,后期含量基本不变。在生长早期的“嘎啦”苹果品种,处理均比 CK 叶绿素含量高,最高达 11.6%,趋于稳定后,处理比 CK 叶绿素含量高 6.8%,差异极显著。对于“富士”苹果品种,在叶绿素含量稳定期,处理比 CK 高 4.1%,差异显著。

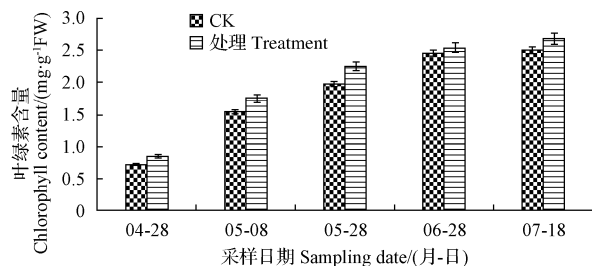


图 1 不同处理对“嘎啦”苹果叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on the chlorophyll content of 'Gala' apple

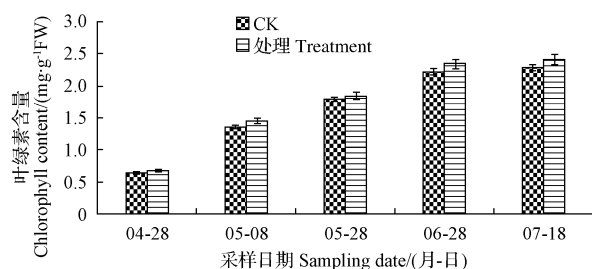


图 2 不同处理对“富士”苹果叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on the chlorophyll content of 'Fuji' apple

2.2 限根节水对不同品种苹果叶绿素荧光参数的影响

2.2.1 限根节水对不同品种苹果 F_v/F_m 的影响 叶片 F_v/F_m 指标指的是 PSII 反应中心的最大光化学效率,能度量叶片 PSII 潜在活性^[7],这一指标代表 PSII 原初光能转化效率^[7]。由图 3、4 可知,在盛果期自然干旱过程中,“嘎啦”和“富士”2 个苹果品种对照和处理下的最大光合效率 F_v/F_m 呈下降趋势,但处理比对照下降明显缓慢。2 个品种 F_v/F_m 处理均比对照高,后期差异显著,“嘎啦”处理比对照高 11.2%，“富士”处理比对照高 18.9%。

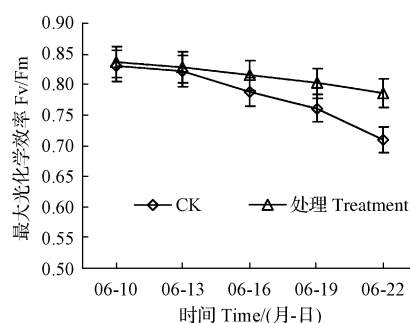


图 3 不同处理对“嘎啦”苹果最大光化学效率 F_v/F_m 的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on the maximum photochemical efficiency of PSII of 'Gala' apple

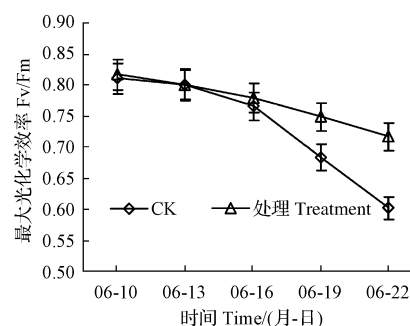


图 4 不同处理对“富士”苹果最大光化学效率 F_v/F_m 的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on the maximum photochemical efficiency of PSII of 'Fuji' apple

2.2.2 限根节水对不同品种苹果 F_v/F_o 的影响 F_v/F_o 代表 PSII 反应中心潜在活性^[7]。由图 5、6 可知,盛果期随干旱胁迫程度的加剧,不同处理下的“嘎啦”和“富士”2 个苹果品种的 PSII 潜在活性 F_v/F_o 呈下降趋势,与对照相比,节水处理下降缓慢,差异不显著。处理下的 2 个品种的 F_v/F_o 值均高于对照,后期差异极显著,其中“嘎啦”处理 F_v/F_o 值最高比对照高 57.4%，“富士”处理比对照高 47.9%。

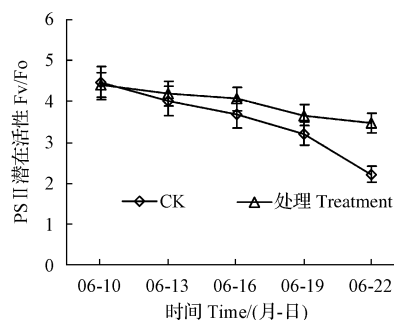


图 5 不同处理对“嘎啦”苹果 PSII 潜在活性 F_v/F_o 的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on potential activity of PSII of 'Gala' apple

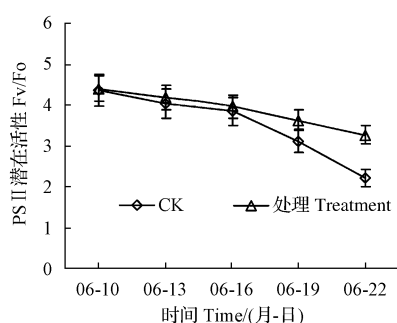
图6 不同处理对“富士”苹果 PSII潜在活性 F_v/F_o 的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on potential activity of PSII of 'Fuji' apple

2.2.3 限根节水对不同品种苹果光量子产量($\Phi PSII$)的影响 $\Phi PSII$ 值反映在任一光照状态下 PSII 的实际光合量子产量、实际光合效率^[7]。由图 7、8 可知,盛果期随干旱胁迫程度的加剧,对照处理“嘎啦”和“富士”2 个苹果品种的 $\Phi PSII$ 呈下降趋势,节水处理下干旱早期 $\Phi PSII$ 下降后趋于平稳。干旱末期,节水处理的 2 个品种 $\Phi PSII$ 与对照相比差异显著,其中“嘎啦”处理 F_v/F_o 值最高比对照高 28.8%,“富士”处理比对照高 27.6%。

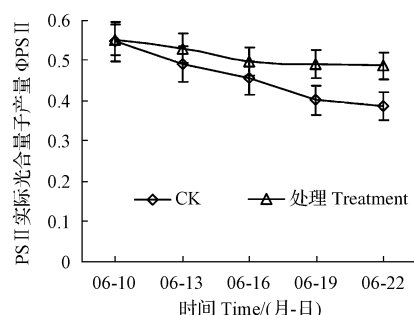
图7 不同处理对“嘎啦”苹果光量子产量 $\Phi PSII$ 的影响

Fig. 7 Effect of different treatments on effective $\Phi PSII$ quantum yield of 'Gala' apple

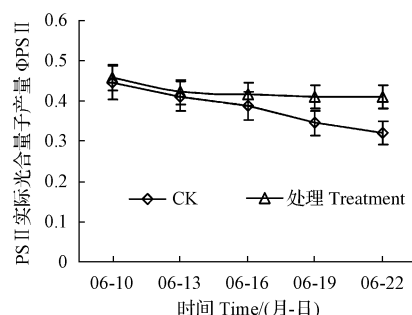
图8 不同处理对“富士”苹果光量子产量 $\Phi PSII$ 的影响

Fig. 8 Effect of different treatments on effective $\Phi PSII$ quantum yield of 'Fuji' apple

2.2.4 限根节水对不同品种苹果光合电子传递速率 (ETR)的影响 ETR 代表 PSII 反应中心的表现光合电

子传递速率^[7]。由图 9、10 可知,在整个测定期,苹果叶片光合参数 ETR 呈下降趋势,但处理的 2 个苹果品种的 ETR 与对照处理相比下降速度慢,且差异显著。其中干旱末期,“嘎啦”处理 ETR 值最高比对照高 51.9%,“富士”处理比对照高 34.2%。ETR 随 PAR 的变化图即为光响应曲线,即使光化光的持续时间短至 10 s,也可得出典型的光响应曲线,这被称为快速光曲线(rapid light curves)。由图 11、12 可以看出,“嘎啦”在处理条件下光响应曲线各值显著高于对照,而“富士”与对照相比差异不显著。

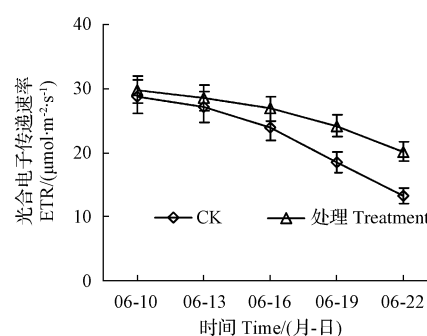


图9 不同处理对“嘎啦”苹果光合电子传递速率 ETR 的影响

Fig. 9 Effect of different treatments on apparent rate of photosynthetic electron transport of 'Gala' apple

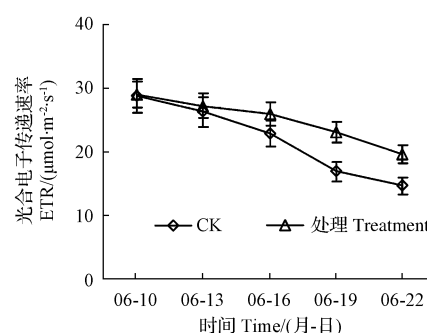


图10 不同处理对“富士”苹果光合电子传递速率 ETR 的影响

Fig. 10 Effect of different treatments on apparent rate of photosynthetic electron transport of 'Fuji' apple

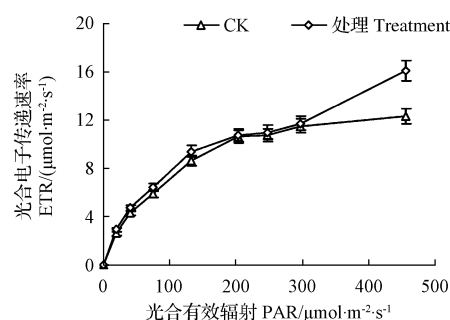


图11 不同处理对“嘎啦”苹果光响应曲线的影响

Fig. 11 Effect of different treatments on the light response curve of 'Gala' apple

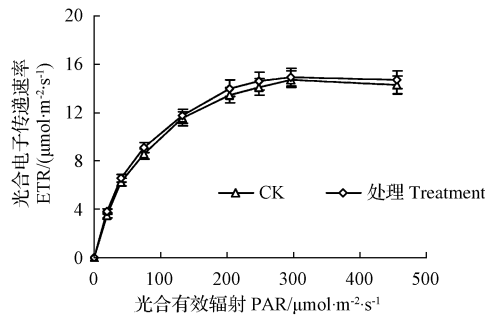


图 12 不同处理对“富士”苹果光响应曲线的影响
Fig. 12 Effect of different treatments on the light response curve of 'Fuji' apple

2.2.5 限根节水对不同品种苹果光化学淬灭系数(qP)的影响 光化学淬灭系数(qP)是由光合作用引起的荧光淬灭,即 PSII 天线色素通过吸收光能并将其用于光化学电子传递的份额并且反映 PSII 反应中心的开放程度^[7],反映了叶片光合活性的高低。光化学淬灭系数 qP 越大,PSII 反应中心的电子传递活性越大^[7]。由图 13、14 可知,在整个测定期,苹果叶片光合参数 qP 呈下降趋势,其中“嘎啦”处理与对照降速差异明显,但“富士”处理与对照相比差异不显著。

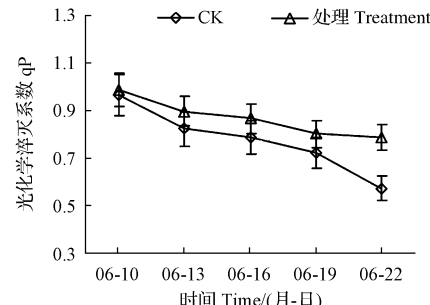


图 13 不同处理对“嘎啦”苹果光化学淬灭系数 qP 的影响
Fig. 13 Effect of different treatments on coefficient of photochemical quenching of 'Gala' apple

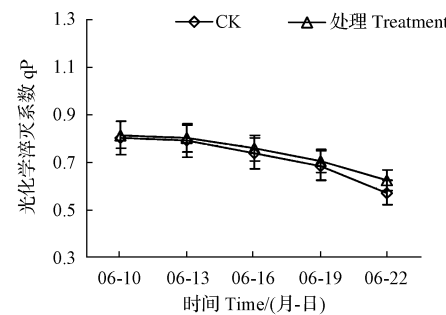


图 14 不同处理对“富士”苹果光化学淬灭系数 qP 的影响
Fig. 14 Effect of different treatments on coefficient of photochemical quenching of 'Fuji' apple

2.2.6 限根节水对不同品种苹果非光化学淬灭系数(NPQ)的影响 非光化学淬灭系数(NPQ)指的是 PSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而是以热耗散的形式消耗,这充分说明植物具有耗散过剩光能为热的能力,反映了植物的光保护能力^[7]。由图 15、16 可知,在整个测定期,“嘎啦”和“富士”光合参数 NPQ 的值先升后降,2 个苹果品种处理的 NPQ 值在处理前期上升幅度较对照小,在处理后期下降幅度显著小于对照。

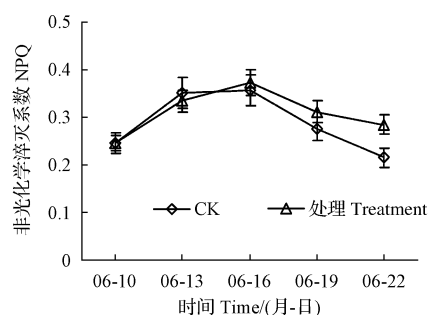


图 15 不同处理对“嘎啦”苹果非光化学淬灭系数 NPQ 的影响
Fig. 15 Effect of different treatments on coefficient of non-photochemical quenching of 'Gala' apple

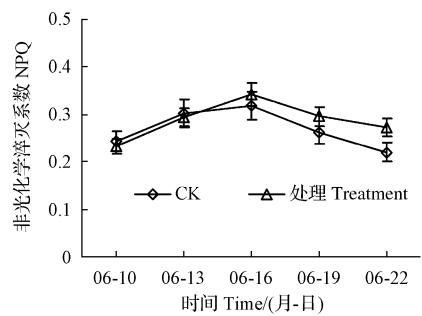


图 16 不同处理对“富士”苹果非光化学淬灭系数 NPQ 的影响
Fig. 16 Effect of different treatments on coefficient of non-photochemical quenching of 'Fuji' apple

2.3 限根节水对不同苹果品种果实品质的影响 从表 1 可以看出,处理的“嘎啦”苹果单果重显著高于对照,而处理“富士”苹果单果重比对照高 1.46%,但未达到显著性水平;苹果果实内在各种生理生化变化的

表 1 节水处理对果实外观品质的影响

Table 1 Effect of water-saving treatment on internal fruit quality						
处理 Treatment	品种 Variety	单果重 Fruit weight /g	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 Soluble solid content/%	硬度 Firmness /(kg·cm ⁻²)	糖酸比 Sugar-acid ratio
对照	“嘎啦”	139.18Cc	0.79Ab	10.19Aa	6.39Ab	25.89Bb
处理	“Gala”	167.68Bb	0.81Ab	11.05Aa	6.88Aa	35.91Aa
对照	“富士”	179.92Aa	0.80Ab	12.00Ab	6.19Ab	29.15Bb
处理	“Fuji”	181.87Aa	0.85Aa	12.52Ab	6.78Aa	40.06Aa

重要外在体现是果肉硬度的变化,果实适时采收和贮藏的重要参考指标也是果肉硬度,处理的“嘎啦”、“富士”苹果果实硬度与对照相比均达显著性差异,其中“嘎啦”处理比对照高 7.67%，“富士”处理比对照高 9.53%；2 个苹果品种处理的糖酸比与对照相比差异显著,其中“嘎啦”比对照高 38.70%，“富士”比对照高 37.43%。

2.4 限根节水对不同品种苹果果实产量的影响

据统计,在 2010 年整体苹果减产的情况下,试验园的苹果仍然达到高产,“嘎啦”苹果达 7 000 kg/667m²,“富士”苹果 4 000 kg/667m²,“嘎啦”苹果比往年增加 8.3%，“富士”苹果增加 5.0%；2011—2014 年,试验果园的限根节水处理果树仍然保持前一年的稳定高产。其中 2014 年,“嘎啦”苹果 7 500 kg/667m²,“富士”苹果 4 300 kg/667m²,均高于对照果树的单产,分别比对照高 6.9%和 8.1%。

3 结论与讨论

叶片是进行光合作用、提供养分的主要器官。叶绿素荧光分析技术是一种新型植物活体测定和诊断技术^[7]。该研究表明,限根节水处理使“嘎啦”和“富士”苹果叶绿素含量、Fv/Fm 和 Fv/Fo、ETR 和 qP 不同程度高于对照水平,特别是限根节水处理下 NPQ 的升高,说明限根节水处理叶片中叶绿体能够自主调节受光面,然后把过量接受的光能以热的形式散失掉,从而使得自身不被灼伤并能防止超氧化物形成而造成自身氧化损伤,最终能够防止产量降低^[8]。该研究限根节水处理使“嘎啦”、“富士”苹果的单果重、果形指数、可溶性固形物含

量、糖酸比均高于对照,且与对照均达差异显著水平,这与 CASPARI 等^[9]的研究结论相一致,说明限根节水一定程度上改善了果实品质。综合该试验结果可以得出,在果园水分管理中,限根节水技术可减少灌水次数为 4 次/年,不仅节约水分,提高叶片质量,还使苹果叶片的 PSII 反应中心电子传递活性受到了不同程度的影响,不仅提高了光合效能,同时自我保护和调节适应能力得到了提高。限根节水技术能够提高苹果树的光合作用,提高水分利用效率,有利于植株的生长发育,进而提高果树产量、改善果实品质。

参考文献

- [1] 杨素苗.灌溉方式对红“富士”苹果根系水分生理特性影响的研究[D].保定:河北农业大学,2011.
- [2] 何明莉,邱素玲,赵新兵.抗旱栽培及节水灌溉技术在果树上的应用[J].北方果树,2005(2):24-26.
- [3] 曹慧,姜倩倩,张保仁,等.节水养根处理对苹果枝叶生长发育的影响[J].北方园艺,2013(4):1-5.
- [4] 吕志明,吕德国.限制栽培对果树生长发育的影响及应用[J].北方果树,2004(增):59-60.
- [5] 李勇,方伟超,朱更瑞,等.双容器与控根器限根对桃树生长发育的影响[J].果树学报,2014,31(2):213-220.
- [6] 侯福林.植物生理学实验教程[M].北京:科学出版社,2004:57-59.
- [7] 马守臣,李凤民,徐炳成,等.返青期根修剪对冬小麦后期耐旱性及水分利用效率的影响[J].植物生态学报,2008,32(5):1194-1200.
- [8] 高天鹏,王东,高海宁,等.保水剂对旱地马铃薯产量及叶片叶绿素荧光动力学参数的影响[J].兰州大学学报(自然科学版),2009,45(3):69-72.
- [9] CASPARI H W, BEHBOUDIAN M H, CHALMERS D J. Fruit characteristics of “Hosui” asian pears after deficit irrigation[J]. Hort Science, 1996,31(1):162-165.

Effect of Water-saving and Root-limiting Treatments on Leaves Fluorescence Characteristics and Yield and Quality of Apple

CAO Hui^{1,2}, XU Wenjuan¹, ZOU Yanmei², SHU Huairui²

(1. Key Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology in Universities of Shandong/Weifang University, Weifang, Shandong 261061; 2. National Research Center for Apple Engineering and Technology, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: In order to investigate the effect of brick-burying root-limiting and water-retentive water-saving technology on fruit trees in orchard, with early maturing apple varieties ‘Gala’ and late maturing varieties ‘Fuji’ in Weifang as materials, the effect of water-saving and root-limiting treatments on leaves fluorescence characteristics and yield and quality of apple in full-fruit period were studied. The results showed that, effect of water-saving treatments on leaves fluorescence characteristics and yield and quality of apple were significantly different from the control. Among them, chlorophyll content was improved, under water-saving treatments. Late irrigation in full-fruit period, chlorophyll fluorescence parameters potential activity of PSII, the maximum photochemical efficiency of PSII, PSII quantum yield, apparent rate of photosynthetic electron transport, coefficient of photochemical quenching, coefficient of non-photochemical quenching were all higher than the control. This indicated that water-saving treatments improved photochemical activity of fruit, thereby increased water use efficiency and fruit quality and yield.

Keywords: water-saving; root-limiting; apple; chlorophyll fluorescence; yield and quality