

间伐改形对陇东乔化密闭苹果园树体叶片及果实品质的影响

牛军强, 尹晓宁, 董 铁, 孙文泰, 刘兴禄, 马 明
(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为探索间伐改形对陇东乔化密闭富士苹果园树体叶片光合、荧光及果实品质的影响, 以15年生密闭红富士苹果园为研究对象, 对树体叶片光合、荧光参数和果实品质等指标进行测定分析。结果表明, 间伐改形不但可以显著提高苹果叶片光合能力, 也可以显著提高果实品质。间伐改形后, 树体叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度分别比不采取间伐提高了12.4%、8.3%、17.4%; 间伐树体叶片的PS II非光化学猝灭系数和最大荧光产量比不采取间伐提高了3.0%、1.5%; 叶片的吸收光能、还原 Q_A 能量和电子传递能量分别比不采取间伐提高10.4%、5.5%、6.3%; 果实单果重、着色面积、硬度、可溶性固形物、可滴定酸均显著高于不采取间伐处理。

关键词: 苹果; 密闭果园; 间伐改形; 叶片质量; 果实品质

中图分类号: S451 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)11-0060-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2021.11.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.11.013)

Effects of Thinning and Reshaping on Tree Leaf and Fruit Quality in Dense Fuji Apple Orchard on Eastern Gansu

NIU Junqiang, YIN Xiaoning, DONG Tie, SUN Wentai, LIU Xinglu, MA Ming

(Institute of Forestry, Fruits and Floriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to study thinning and reshaping effects on leaf photosynthesis, fluorescence and fruit quality, 15 year-old Fuji apple dense orchards were selected to measure the photosynthetic, fluorescence and fruit quality, before and after the thinning and reshaping practices. The results showed that thinning and reshaping could not only improve the photosynthetic capacity of apple leaves, but also improve the fruit quality. After thinning and reshaping, compared with the control no thinning (CK), the net photosynthetic rate, transpiration rate, and stoma conductance increased by 12.4%, 8.3%, 17.4%; q_N (non-photochemical quenching coefficient) and F_m (maximum fluorescence) of PS II of leaves increased by 3.0% and 1.5%, TRo/RC (energy captured by the unit reaction center to reduce Q_A) and ETo/RC were increased 10.4%, 5.5%, and 6.3%, respectively. And the main indicators of single fruit weight, coloring area, hardness, soluble solids, and titratable acid were significantly higher than CK.

Key words: Apple; Dense orchard; Thinning and reshaping; Leaf quality; Fruit quality

目前, 甘肃省大部分成龄乔化苹果园存在树冠郁闭、枝量繁多、树冠通风透光差, 病虫害严重、果实品质差、大小年结果严重、生产管理难度大等问题^[1-6], 已严重制

收稿日期: 2021-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760556); 国家苹果产业技术体系平凉综合试验站项目(GARS-27); 国家重点研发计划项目(2016YFD0201135); 农业农村部西北地区果树科学观测试验站项目(S-10-18); 甘肃省苹果产业科技攻关项目(GPCK 2011-1)。

作者简介: 牛军强(1976—), 男, 甘肃通渭人, 副研究员, 主要从事苹果栽培生理研究工作。联系电话: (0)18193169363。Email: niujq222@sina.com。

通信作者: 马明(1965—), 男, 甘肃秦安人, 研究员, 主要从事苹果栽培生理研究工作。联系电话: (0)13893685370。Email: maming65118@163.com。

约苹果产业的健康、高效、可持续发展。而间伐改形是解决果园郁闭最为有效的措施之一^[7]，也是解决以上问题的主要途径。

近年来，密闭果园改造成为苹果栽培的热点，针对密闭果园改造引起果园群体结构、叶片光合特性、果实品质等变化方面的研究相对较多。然而在不同产区、不同密度、不同树龄条件下，间伐改形对密闭果园的改善效果可能不同^[8]。我们以甘肃陇东地区 15 年生红富士长富 2 号为试材，通过隔株间伐改造，研究了不同处理水平对冠层不同部位叶片及果实质量的影响，以期为甘肃陇东地区成龄乔化红富士密闭园间伐改造、树体结构调整提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验园概况

试验于 2019 年 1 月上旬在甘肃省静宁县城川镇试验园进行。以苹果红富士长富 2 号为研究对象，砧木为怀来海棠，树龄 15 年生，株行距 3 m × 4 m。树形为改良纺锤形，树高 4.3 ~ 4.6 m，干高 70 ~ 80 cm，主枝 8 ~ 12 个，主枝角度 60° ~ 70°，树冠交接率达 150% 以上。授粉品种为秦冠，比例 6%。试验园面积 0.8 hm²，当地海拔 1 587 m，年降水量 470 mm，年日照时数 2 240 h，年平均气温 7.2 °C，无霜期 159 d。土壤为黄绵土，果园行间自然生草，无灌溉条件。果实套袋，管理水平中等偏上。

1.2 试验设计

2019 年 1 月上旬对果园进行间伐改造试验。参照牛军强等^[9]的方法，将试验分为 2 个处理，每处理又分为 3 个水平。2 个处理分别为 T：间伐改形，即在每行中间隔 1 株间伐 1 株，使株行距由原来的 3 m × 4 m 变为 6 m × 4 m，密度由原来的 834 株 / hm² 变为 417 株 / hm²，同时采用落头、开角、提干、疏枝等修剪措施，使树体高度变为 320 ~ 350 cm，干高 90 ~ 100 cm，主枝

5 ~ 7 个，主枝角度开张为 90° 左右，采用富士苹果惯用的疏枝、多长放、少回缩、不短截的手法进行冬剪，树体修剪量为 30% 左右；CK(对照)，即对果园不采取间伐，定植密度和株行距保持原有不变，除了对树体不采取格外的开角、落头、提干等措施以外，修剪手法与间伐处理的完全相同，树体修剪量也为 30% 左右。参照牛军强等^[9]的方法，将 3 个水平设置为：Ⅰ冠层中上部，指树冠高度 150 cm 以上，同时距离中央领导干大于 80 cm 的空间部位；Ⅱ冠层下部外围，指树冠高度为 80 ~ 150 cm，同时距离中央领导干大于 100 cm 的空间部位；Ⅲ冠层下部内堂，指树冠高度为 80 ~ 150 cm，同时距离中央领导干为 30 ~ 100 cm 的空间部位。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 测定部位 2019 年 8 月中旬，参照前人的方法^[1, 6, 9]，各处理选择树势中庸、长势基本一致的树体各 3 株作为研究对象。每株在树冠中上部、下部外围东南方向长势基本一致、生长健壮良好的枝条中，选取从枝条基部向上数第 5、6 片长势健壮、叶色浓绿、无机械损伤和病虫害的 5 个功能叶片作为供试叶片。同时，在树冠下部内堂东南方向生长势健壮良好的中短枝中，选取从基部向上数第 3、4 片无机械损伤、无病虫害的 5 片功能叶作为供试叶片。

1.3.2 光合测定 参照前人的方法^[1, 6, 9]，利用美国生产的 LI-6400 便携式光合测定分析仪(Li-COR Inc, Lincoln NE, USA)于晴天 9:30—10:30 时测定。采用开放式气路，在光强 1 450 μmol/(m²·s)、温度 25 °C、相对湿度 60%，大气 CO₂ 浓度约为 380 μmol/mol 条件下测定叶片的蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、净光合速率 (P_n) 和胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 等光合参数。

1.3.3 叶绿素荧光测定 参照前人的方法^[1, 6, 9]，将所测叶片暗适应 30 min 后，利

用英国产 FMS-2 脉冲调制式荧光仪(Hansatech, UK)测定初始荧光(F_o)、最大光化学效率(F_v/F_m)、非光化学猝灭系数(qN)、最大荧光(F_m)、吸收光能(ABS/RC)、耗散光能(DIo/RC)、还原 QA 能量(TRo/RC)、电子传递能量(ETo/RC)等荧光参数。

1.3.4 果实品质测定 9 月下旬按设计方案统计每个空间部位的果实个数。用精度 1% 的电子天平测定果实单果质量,用手持式折光糖度计测定可溶性固形物含量,用 NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量,用 GY-1 型果实硬度计测定果实硬度等品质指标。

1.4 数据处理

采用 DPS16.05 统计分析软件对数据进行统计分析。采用单因素和 Duncan 法对叶片光合、叶绿素荧光指标和果实品质等数据进行方差分析与多重比较($\alpha=0.05$)。图表中的数据均为平均值 \pm 标准差。

2 结果与分析

2.1 间伐改形对叶片光合指标的影响

由表 1 可知,间伐改形对苹果叶片净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率

(T_r)和气孔导度(G_s)均有显著影响。在树体同一冠层部位,间伐处理的 P_n 、 G_s 、 T_r 均显著大于 CK, C_i 显著小于 CK。并且,同一处理不同部位间也存在显著差异,无论是间伐处理还是 CK, P_n 、 G_s 、 T_r 均表现为冠层下部内堂 < 下部外围 < 中上部, C_i 均表现为冠层下部 > 内堂下部外围 > 中上部。间伐处理的叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 分别比 CK 提高了 12.4%、8.3% 和 17.4%, C_i 降低了 6.9%。

2.2 间伐改形对叶片叶绿素荧光指标的影响

由表 2 可知,间伐改形对叶绿素荧光指标也有显著影响。在苹果树体相同冠层部位中,间伐改形处理的 F_m 、 qN 、 ABS/RC 、 ETo/RC 、 TRo/RC 均显著大于 CK, qN 是植物在光照过强时用来保护自己而应用的一种防御机制,它客观反映植物耗散过剩光能为热能的能力。 F_m 是 PS II 反应中心完全关闭时的荧光产量,它客观反映经过 PS II 的电子传递能力。间伐处理的 qN 和 F_m 分别比 CK 提高 3.0%、1.5%,间伐处理叶片 ABS/RC 、 TRo/RC 、 ETo/RC 分别比 CK 高 10.4%、5.5%、6.3%。同一处理不同部位间 ABS/RC 、

表 1 不同处理叶片光合指标比较^①

处理	部位	P_n /[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	G_s /[$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	T_r /[$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	C_i /[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]
T	I	18.86 \pm 0.51 a	0.276 \pm 0.003 a	3.28 \pm 0.04 a	273 \pm 4 d
	II	17.92 \pm 0.31 b	0.261 \pm 0.002 b	3.16 \pm 0.07 b	289 \pm 2 c
	III	16.75 \pm 0.56 c	0.235 \pm 0.003 c	2.93 \pm 0.06 c	314 \pm 2 b
CK	I	17.81 \pm 0.22 b	0.260 \pm 0.005 b	3.15 \pm 0.03 b	288 \pm 3 c
	II	15.34 \pm 0.36 d	0.211 \pm 0.004 d	2.75 \pm 0.03 d	325 \pm 6 a
	III	14.47 \pm 0.52 e	0.185 \pm 0.004 e	2.73 \pm 0.14 d	328 \pm 4 a

① I 为冠层中上部; II 为冠层下部外围; III 为冠层下部内堂。下同。

表 2 不同处理叶片叶绿素荧光指标比较

处理	部位	F_o	F_m	F_v/F_m	qN	ABS/RC	DIo/RC	ETo/RC	TRo/RC
T	I	387 \pm 7a	2283 \pm 6a	0.831 \pm 0.003a	0.857 \pm 0.005a	1.821 \pm 0.005a	0.325 \pm 0.005a	1.257 \pm 0.051a	1.755 \pm 0.007a
	II	385 \pm 4a	2251 \pm 4b	0.829 \pm 0.004a	0.840 \pm 0.007b	1.628 \pm 0.007b	0.321 \pm 0.003a	1.209 \pm 0.007b	1.685 \pm 0.005b
	III	385 \pm 5a	2233 \pm 3c	0.828 \pm 0.002a	0.825 \pm 0.005c	1.481 \pm 0.011c	0.323 \pm 0.006a	1.161 \pm 0.007c	1.590 \pm 0.010c
CK	I	386 \pm 5a	2252 \pm 5b	0.829 \pm 0.004a	0.840 \pm 0.006b	1.629 \pm 0.010b	0.325 \pm 0.007a	1.211 \pm 0.008b	1.690 \pm 0.013b
	II	383 \pm 3a	2217 \pm 5d	0.828 \pm 0.004a	0.816 \pm 0.005d	1.418 \pm 0.011d	0.325 \pm 0.005a	1.111 \pm 0.008d	1.588 \pm 0.011c
	III	381 \pm 6a	2201 \pm 2e	0.827 \pm 0.002a	0.811 \pm 0.003d	1.417 \pm 0.008d	0.322 \pm 0.008a	1.090 \pm 0.006e	1.490 \pm 0.021d

TR_o/RC 、 ET_o/RC 也存在显著差异, 均表现为下部内堂 < 冠层下部外围 < 冠层中上部。

2.3 间伐改形对果实品质的影响

由表 3 可以看出, 间伐改形对果实品质有显著的影响。在苹果树体同一冠层部位, 间伐改形的果实单果重、着色面积、硬度、可溶性固形物、可滴定酸均显著高于 CK。同一处理不同部位的单果重、着色面积、硬度、可溶性固形物、可滴定酸也有差异。同一冠层中, 间伐改形的果实光洁度显著低于 CK, 果形指数与 CK 之间无显著差异。

2.4 叶片质量与果实品质指标的相关关系

苹果叶片质量及果实品质之间有着密切

的联系。由表 4 可知, 苹果叶片光合参数的 P_n 、 G_s 、 T_r 与果实单果重、着色面积、硬度、可溶性固形物和可滴定酸均呈显著正相关, 与果实光洁度、果形指数均呈负相关。叶片荧光参数 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 qN 、 ABS/RC 、 ET_o/RC 、 TR_o/RC 与单果重、硬度、可溶性固形物、可滴定酸也呈显著正相关, 与果实品质的光洁度、果形指数呈显著负相关。光合参数的 C_i 与果实品质的光洁度、果形指数均呈显著正相关, 与单果重、着色面积、硬度和可溶性固形物均呈显著负相关。荧光参数 DI_o/RC 与所测光合参数、果实品质指标及其他荧光参数均无显著相关性。

表 3 不同处理果实质量指标

处理	部位	单果重 /g	着色面积 /%	光洁度 /%	果形指数	硬度 /(kg/cm ²)	可溶性固形物 /(g/kg)	可滴定酸 /(g/kg)
T	I	242 a	98.32 a	95.21 d	0.88 a	9.28 a	155.8 a	3.62 a
	II	239 a	96.83 b	97.01 b	0.89 a	8.57 b	149.6 b	3.42 b
	III	223 c	94.17 c	97.31 b	0.91 a	8.46 b	145.5 c	3.30 b
CK	I	228 b	96.93 b	96.41 c	0.89 a	8.61 b	150.3 b	3.33 b
	II	221 c	84.92 d	98.13 a	0.91 a	8.11 c	138.7 d	2.64 c
	III	211 d	70.03 e	98.51 a	0.91 a	7.62 d	126.5 e	2.17 d

表 4 不同果园冠层微域环境因子与叶片生理指标的相关关系^①

参数	单果重	着色面积	光洁度	果形指数	硬度	可溶性固形物	可滴定酸	F_o	F_m
着色面积	0.856*								
光洁度	-0.857*	-0.815*							
果形指数	-0.887*	-0.698	0.909*						
硬度	0.910*	0.892*	-0.969*	-0.844*					
可溶性固形物	0.913*	0.977*	-0.911*	-0.812*	0.962*				
可滴定酸	0.890*	0.978*	-0.878*	-0.759	0.934*	0.980*			
F_o	0.856*	0.957*	-0.939*	-0.798*	0.965*	0.986*	0.972*		
F_m	0.935*	0.866*	-0.983*	-0.925*	0.983*	0.949*	0.919*	0.948*	
F_v/F_m	0.913*	0.770	-0.960*	-0.917*	0.960*	0.885*	0.823*	0.877*	0.973*
qN	0.933*	0.829*	-0.976*	-0.960*	0.955*	0.921*	0.891*	0.919*	0.992*
ABS/RC	0.899*	0.732	-0.967*	-0.971*	0.922*	0.852*	0.815*	0.857*	0.971*
DI_o/RC	0.107	0.268	-0.410	-0.213	0.392	0.333	0.190	0.393	0.322
ET_o/RC	0.929*	0.884*	-0.966*	-0.933*	0.954*	0.951*	0.937*	0.955*	0.987*
TR_o/RC	0.947*	0.893*	-0.935*	-0.924*	0.950*	0.960*	0.903*	0.934*	0.972*
P_n	0.937*	0.926*	-0.946*	-0.900*	0.956*	0.972*	0.966*	0.965*	0.978*
G_s	0.937*	0.948*	-0.927*	-0.885*	0.948*	0.984*	0.970*	0.969*	0.966*
T_r	0.920*	0.852*	-0.941*	-0.951*	0.913*	0.918*	0.910*	0.914*	0.965*
C_i	-0.919*	-0.815*	0.951*	0.978*	-0.913*	-0.901*	-0.731	-0.896*	-0.971*

续表 4

参数	F_v/F_m	qN	ABS/RC	DIo/RC	ETo/RC	TRo/RC	P_n	G_s	T_r
qN	0.992*								
ABS/RC	0.971*	0.966*							
DIo/RC	0.322	0.415	0.265						
ETo/RC	0.987*	0.929*	0.990*	0.959*					
TRo/RC	0.972*	0.951*	0.966*	0.928*	0.366				
P_n	0.978*	0.908*	0.974*	0.927*	0.212	0.994*			
G_s	0.966*	0.895*	0.959*	0.902*	0.239	0.984*	0.972*		
T_r	0.965*	0.899*	0.982*	0.955*	0.152	0.992*	0.946*	0.983*	
C_i	-0.971*	-0.928*	-0.990*	-0.990*	-0.213	-0.986*	-0.957*	-0.956*	-0.956*

① * $P < 0.05$ 。

3 结论与讨论

研究分析表明, 间伐改形可显著提高树体叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r), 气孔导度(G_s), 这与前人的研究结果基本一致^[3, 6, 8, 9]。说明间伐改形可显著提高苹果树体叶片的光合能力, 主要原因可能是间伐改形显著改善了冠层的光照强度及其空间分布, 提高了冠层的平均温度所致^[8]。

逆境对光合作用的影响可以通过叶绿素荧光参数来客观反映, 植物是否长期发生了光抑制现象, 可以通过 F_v/F_m 进行判断^[10], 它可以直接反映植物在逆境条件下光化学反应的快慢^[11]。本研究结果与前人的研究基本一致^[6, 8, 9, 12]; 间伐改形和不采取间伐叶片光合作用均受非气孔因素的限制。研究还发现, 间伐改形和不采取间伐叶片 F_o 、 F_v/F_m 均无显著差异, 说明两者的叶片均未曾出现过长期光抑制现象。 qN 是植物在光照过强时用来保护自己免受强光损伤的一种应急机制, 它能客观反映出植物耗散过剩光能为热的能力大小。间伐改形叶片的 qN 显著高于不采取间伐处理, 说明间伐改形树体在长期强光的照射下, 适应强光环境保护自我、耗散过剩光能为热的能力显著增强, 也就是其免受强光损伤的能力得到明显增强。研究同时发现, 间伐改形树体叶片PS II反应中心光合潜能得到了显著提高。与不采取间伐相比, 间伐改形尽管没有减小叶片的耗散能

量, 但显著提高了叶片的吸收光能、还原 Q_A 能量和电子传递能量, 进而从整体上提高了苹果树叶片的的光合能力。

密闭果园间伐改形后, 果实内外品质得到了显著提高。研究发现, 间伐改形的果实单果重、着色面积、硬度、可溶性固形物、可滴定酸均显著高于不采取间伐对照。间伐改形促进果实品质显著提高的原因可能是冠层光照的显著改善、温度的显著增高以及叶片光合能力的显著提升等多种因素共同作用的结果, 是内因和外因协同的结果。

可见, 间伐改形既可以提高苹果叶片光能利用效率, 提高叶片光合能力, 也可以提高果实品质, 是密闭苹果园合理改造的有效措施。

参考文献:

- [1] 牛军强, 曹永华, 孙文泰, 等. 陇东旱塬苹果树冠不同部位叶片光合及荧光特性对间伐方式的响应[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(6): 44-50.
- [2] GREEN S R, MCNAUGHTON K G, GREER D H. Measurement of light interception and utilization in an apple orchard[J]. Acta Horticulturae, 2001, 577: 368-376.
- [3] 李绍华, 李明, 刘国杰, 等. 直立中央领导干树形条件下幼年苹果树体生长特性的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 826-830.
- [4] 陈建军, 马明, 王志平, 等. 甘肃省特色

基于灰色关联分析的宁夏中部旱区压砂地土壤质量评价

贾 涛

(吴忠市科信环境检测有限公司, 宁夏 吴忠 751100)

摘要: 在对宁夏中部旱区压砂地土壤养分调查的基础上, 选择西瓜地、枸杞地、沙枣地和撂荒地作为研究对象, 以有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾作为评价指标, 运用灰色关联分析模型对该区域土壤质量进行综合评价。结果表明, 该区域西瓜地土壤质量最优, 枸杞地和撂荒地次之, 沙枣地土壤质量较差。

关键词: 灰色关联分析; 土壤质量; 压砂地; 宁夏中部旱区

中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)11-0065-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.11.014

Evaluation of Soil Fertility in Gravel-sand Mulched in Arid Area of Central Ningxia Base on Grey Correlation Analysis

JIA Tao

(Wuzhong Kexin Environmental Testing Co., Ltd., Wuzhong Ningxia 751100, China)

Abstract: Based on the investigation and analysis of soil nutrients on the gravel-sand mulched field in arid area of central Ningxia, watermelon land, wolfberry land, sand jujube land and abandoned land were chosen as research objects, organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available

收稿日期: 2021-07-31

作者简介: 贾 涛(1987—), 男, 宁夏吴忠人, 工程师, 主要从事环境检测工作。联系电话: (0)13895007937。Email: 515865384@qq.com。

- 优势农产品秦安苹果评价[J]. 甘肃农业科技, 2020(11): 78-80.
- [5] WERTHEIM S J, WAGENMAKERS P S, BOOTSMA J H, et al. Orchard systems for apple and pear: Conditions for success[J]. Acta Horticulturae, 2001, 557: 209-227.
- [6] 何正奎, 牛军强, 马 明, 等. 间伐对乔化‘红富士’苹果冠层不同部位叶片光合及荧光特性的影响[J]. 林业科技通讯, 2021(2): 47-50.
- [7] 孙建设, 马宝焜, 章文才. 富士苹果果皮色泽形成的需光特性研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(3): 213-215.
- [8] 孙文泰, 牛军强, 董 铁, 等. 间伐改形对陇东旱塬密闭苹果园树体冠层结构和发育后期叶片质量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 3008-3016.
- [9] 牛军强, 孙文泰, 董 铁, 等. 间伐改形对陇东高原密闭富士苹果园冠层微域环境及叶片生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3681-3690.
- [10] 徐兴利, 金则新, 何维明, 等. 不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6343-6353.
- [11] MURATEN, TAKAHASHI, NISHIYAMA Y. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2007, 1767: 414-421.
- [12] 武 辉, 周艳飞, 候丽丽. 低温弱光胁迫对棉花幼苗叶绿素荧光特性及能量分配的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(3): 393-399.

(本文责编: 陈 珩)