

“绿宝”苹果光合特性及 主要影响因子研究

张 婷¹, 江 文², 刘 慧 芹¹, 刘 峰¹, 曾 丽 蓉¹, 骆 建 霞¹

(1. 天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384; 2. 天津樱桃谷农业科技发展有限公司, 天津 301908)

摘 要:以 6 年生“绿宝”苹果为试材, 用 CI-340 光合仪(美国)测定其光合指标, 以了解“绿宝”苹果的光合特性。结果表明:净光合速率(Pn)季节变化呈双峰曲线, 9 月为最高峰, 6 月为次高峰; Pn 日变化呈单峰曲线, 10:00—11:00 的 Pn 最高为 $24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 光补偿点和饱和点分别为 $44.363, 1978.074 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 表观量子效率(AQY)为 0.038 7; CO_2 补偿点和饱和点分别为 $184.58, 1528.58 \mu\text{mol/mol}$, 羧化效率(CE)为 0.093 6。影响“绿宝”苹果净光合速率的主成分有 3 个, 分别为气孔导度(C)因子、有效光合辐射(PAR)因子和叶绿素(Chl)含量因子。试验表明, “绿宝”苹果具有较高的光合能力。

关键词:“绿宝”苹果; 光合特性; 季节; 日变化; 生理生态因子; 主成分

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)18-0017-05

“绿宝”苹果(Bramley, 三倍体), 是 19 世纪中叶在英国邵士威尔, 由 BRAILSFORD 偶然从实生苗中选出, 为

第一作者简介:张婷(1989-), 女, 甘肃人, 硕士研究生, 现主要从事果树及园林地被植物资源及适应性等研究工作。E-mail: tingzhang322@163.com.

责任作者:骆建霞(1957-), 女, 河北涿州人, 教授, 现主要从事果树及园林地被植物资源及其适应性等研究工作。E-mail: tjluojianxia@126.com.

基金项目:天津市科委 2014 年基础与前沿技术研究计划资助项目(14JCYBJC30200); 天津市农委资助项目(201101120)。

收稿日期:2015-05-20

英国著名的餐用苹果品种。1925 年前后由英国侨民首次传入我国^[1], 但因其果实品质不适合鲜食(果实含酸量高、硬度大), 未得以推广种植。在长期的栽培中, “绿宝”苹果形成了很多优良品系, 21 世纪初, 陕西省良种繁育中心从英国重新引进“绿宝”苹果试种, 在陕西铜川、甘肃天水等地区经过多年的引种试验, 表现较好^[2], 为优良的高酸苹果品种。我国目前栽培的苹果品种绝大部分为鲜食品种, 苹果浓缩汁的加工主要以残次品、落果及低酸度苹果为原料, 优质加工原料严重不足^[3], 因此“绿宝”苹果的栽培生产有着广阔的前景。目前我国对“绿宝”苹果的理论研究十分薄弱, 仅见有“绿宝”苹

Abstract: The effect of exogenous plant growth hormones gibberellic acid (GA_3) and abscisic acid (ABA) on the morphological indexes in the buds of *Ribes nigurm* L. during secondary germination was investigated to determine the regulatory role of GA_3 and ABA in the secondary germination. Adelinia, a cultivated variety of *Ribes nigurm* L. in Heilongjiang Province, was sprayed with different concentration of exogenous GA_3 and ABA to regulate germination, with water as a control. The results showed that GA_3 could significantly promote *Ribes nigurm* L. secondary germination, with different concentration having different germination time and different accelerating effect, and the greater the concentration, the more obvious effect of pre-promote germination, which 50 mg/L GA_3 treatment germination regulatory effect was the most significant. But in terms of the total germination rate, the difference of 3 concentration of GA_3 treatment was small, and all final germination rate could reach 95%. Also after GA_3 treatment, shoot length were significantly different. Overall, the total length of the post-processing branches, internode length and branches fineness and GA_3 concentration were positively correlated; ABA could significantly inhibit the secondary germination of *Ribes nigurm* L., the germination rate was only about 5% in the 2 concentration treatments of ABA, and the size of the buds reduced, only about 80% of the control.

Keywords: *Ribes nigurm* L.; secondary germination; GA_3 ; ABA

果引种、物候期、生长及结果习性、果实品质、组织培养等方面的报道^[2,4-5]。国外学者从果实贮藏条件^[6]、病虫害防治^[7]、砧木^[8]、转基因^[9]等方面对“绿宝”苹果进行了研究。

光合作用是果树生长和结果的基础,有关苹果光合特性的研究多有报道,且集中于对鲜食品种的研究^[10-12],除课题组前期研究外^[13],尚鲜见到对“绿宝”苹果光合特性的研究报道。该试验对其光合特性进行研究,以期为其栽培管理提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点为天津市蓟县樱桃谷试验基地,缓坡地。土壤为多砾石粘壤土,有机质含量 2.681%,全盐含量 0.065%,pH 7.97,速效氮、磷、钾含量分别为 133.8、93.71、177.5 mg/kg,土壤容重 1.514 g/cm³。

1.2 试验材料

选取生长健壮的 5 年生“绿宝”苹果树,树形为疏散分层形,株行距 3.0 m×4.5 m,南北向种植,砧木为圆叶海棠。

1.3 试验方法

1.3.1 “绿宝”光合特性的测定 选取树冠南侧生长发育基本一致的新梢,随机取中部、有代表性的成熟叶片,用手持式光合测定仪(CI-340,美国)进行光合指标测定,包括净光合速率(Pn)、蒸腾速率(E)、气孔导度(C)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、光合有效辐射(PAR)、叶室温度(Tair)等指标。每次 3~5 片叶,重复 4 次,取平均值。光合指标季节变化:2013—2014 年 4—11 月每月下旬选择 1 个晴天,于 10:00 时左右测定,CO₂ 浓度为 420 μmol/mol,并且记录测时气温。光合指标日变化:选择 7—9 月中旬的 3 个晴天,在光照强度为 200~1 800 μmol·m⁻²·s⁻¹,从 7:00—18:00,每 1 h 测定 1 次(6 次重复)。根据测定结果,绘制光响应曲线,并将 305 μmol·m⁻²·s⁻¹ 以内的 PAR 和 Pn 进行直线回归,斜率即为表观量子效率(AQY),测定时 CO₂ 浓度为 420 μmol/mol,相对湿度(RH)为 65%,记录 Tair 与 PAR。CO₂ 响应曲线的测定:设定 PAR 大小为 1 400 μmol·m⁻²·s⁻¹,CO₂ 浓度设定为 50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 500、1 800 μmol/mol,每浓度重复测定 3 次,并将 250 μmol/mol 及以下的胞间 CO₂ 浓度和净光合速率进行直线回归,斜率即为羧化效率(CE),叶室温度(Tair)为 34℃、RH 同上。

1.3.2 影响净光合速率的主成分分析及通径分析

于 9 月中旬晴朗天气,在树冠南侧中部选择有代表性的新梢,随机取其中部生长发育正常的成熟叶 20 片,测定每片叶子的 Pn、E、C、Ci,记录测定时的光合有

效辐射,同时用 95% 乙醇法^[14]测定每片叶的叶绿素含量以及用画纸称重法(硫酸纸)测定每个单叶的叶面积。对测定结果进行主成分分析和通径分析。

1.4 数据分析

试验数据用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,采用邓肯氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 “绿宝”苹果光合特性的季节变化

由图 1 可知,一年中随生长季节的延长,“绿宝”苹果净光合速率呈升→降→升→降变化趋势,2 个峰分别出现在 9 月(最高峰)、6 月(次高峰)。对不同月份的净光合速率进行差异显著性的分析(表 1)表明,4—5 月净光合速率无显著性的差异,6 月极显著的升高,7—8 月极显著的下降,但仍然高于 4—5 月,9 月又极显著的上升,10—11 月极显著下降。春季(4、5 月)及深秋(10、11 月)的净光合速率较弱,且蒸腾速率、气孔导度值显著低于或低于 6、7、9 月,除了与光合有效辐射和温度有关外,还可能与叶片的生长状况有关,春季叶片和新梢等器官尚处于自身建造过程,而深秋叶片已进入衰老过程,从而影响到叶片的光合能力;在生长季(6—9 月)中的叶片成熟,属于功能叶,光合能力在年生长周期中保持较高的光合能力,而 6、9 月的净光合速率、蒸腾速率极显著高于 7、8 月,这可能的原因是天津在 7、8 月处于高温、多雨湿润的季节,使得气孔关闭,蒸腾速率降低。

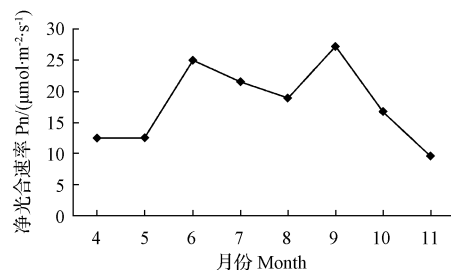


图 1 “绿宝”苹果净光合速率的季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of Pn in 'Bramley'

2.2 “绿宝”苹果光合指标日变化及光响应曲线

从图 2 可知,“绿宝”苹果净光合速率的日变化基本呈单峰状态,峰值出现于 10:00—11:00 时,没有“午休”现象。从 8:00—15:00 一直保持较高的净光合速率(16.08~24.39 μmol·m⁻²·s⁻¹),15:00 之后迅速下降。蒸腾速率、气孔导度的日变化均表现为先升后降趋势,蒸腾速率 11:00 最高,气孔导度 12:00 最高,它们均与净光合速率呈极显著正相关,相关系数分别为 $r=0.905$, $r=0.890$;胞间 CO₂ 浓度则始终保持较高的水平,胞间 CO₂ 浓度与净光合速率为显著负相关, $r=-0.696$ 。图 3 显示出光合有效辐射在 7:00—11:00 快速上升,

表 1

“绿宝”苹果不同季节光合特性的变化

Table 1 Variation of photosynthetic characters of ‘Bramley’ apple in different month

月份 Month	净光合速率 Net photosynthetic rate(Pn) /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate(E) /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance(C) /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Intercellular CO_2 concentration(Ci) /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	光合有效辐射 Photosynthetically active radiation(PAR) /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	叶室温度 Tair /°C
4	12.500 f F	2.906 c B	73.634 cd B	186.625 cd BCD	1 603.106 a AB	23.63
5	12.552 f F	3.105 c B	96.854 bcd B	217.689 bc BC	1 669.381 a AB	28.16
6	25.032 b B	3.972 a A	152.865 bc B	263.970 b B	1 125.383 b C	30.67
7	21.608 c C	3.031 c B	350.085 a A	470.775 a A	1 748.558 a A	33.00
8	18.928 d D	1.368 e D	63.506 d B	150.692 de CD	1 606.195 a AB	31.00
9	27.259 a A	3.659 b A	155.308 b B	214.153 bc BC	1 897.905 a A	26.17
10	16.697 e E	2.480 d C	87.570 bcd B	216.446 bc BC	1 751.342 a A	20.77
11	9.575 g G	0.726 f E	47.849 d B	113.721 e D	1 280.094 b BC	12.43

注:同一列中大小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)。

Note: Capital and lowercase letters in same column mean significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels separately.

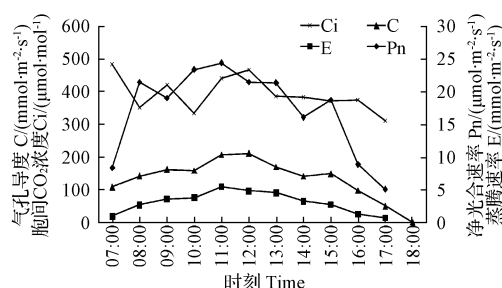


图 2 “绿宝”叶片光合日变化

Fig. 2 Diurnal variation of photosynthetic characters of ‘Bramley’

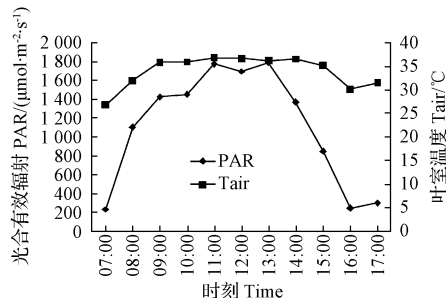


图 3 “绿宝”PAR、Tair 的日变化

Fig. 3 Diurnal variation of PAR and Tair of ‘Bramley’

11:00—13:00 保持较高而平稳的状态,13:00 以后大幅度下降;净光合速率日变化测定时的叶室温度(Tair)变化幅度较小。

对 Pn-PAR 进行回归分析,得到“绿宝”苹果的净光合速率-光响应曲线(图 4),并求出其光补偿点(LCP)为 $44.363 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,随光合有效辐射值的增大,净光合速率呈上升趋势,当光合有效辐射为 $1 978.074 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时,达到净光合速率的最大值(约 $24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),故其光饱和点(LSP)为 $1 978.074 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,将光合有效辐射在 $305 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内的变化与净光合速率进行直线回归,得表观量子效率 AQY 约为 0.038 7。

2.3 “绿宝”苹果的 CO_2 响应曲线

由图 5 可知, CO_2 响应曲线呈先升后降趋势,在

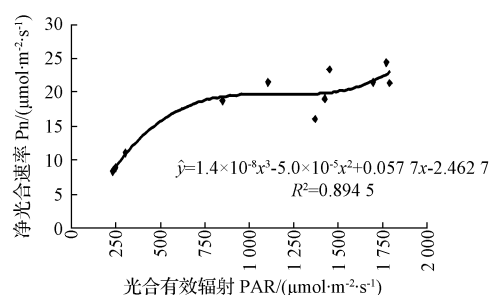
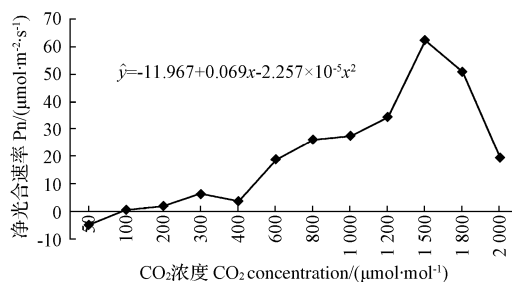


图 4 光合作用-光响应曲线

Fig. 4 Response curve of Pn to PAR

CO_2 浓度为 $50 \sim 400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 范围内净光合速率值缓慢上升, $400 \sim 1 500 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 范围内净光合速率快速增长, $1 500 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 以后下降;据 CO_2 响应曲线可计算出 CO_2 补偿点和饱和点分别为 $184.58, 1 528.58 \mu\text{mol}/\text{mol}$,将胞间 CO_2 浓度在 $250 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 范围内的胞间 CO_2 浓度变化与净光合速率变化进行直线回归,其羧化效率 CE 约为 0.093 6。

图 5 “绿宝”苹果 CO_2 响应曲线Fig. 5 CO_2 response curve of ‘Bramley’

2.4 影响“绿宝”苹果净光合速率主要因子的分析

采用主成分和通径分析法,对影响“绿宝”苹果净光合速率的主要因子进行了分析。由表 2 可知,只有前 3 个主成分的特征根值大于 1,其中第一主成分占特征根总值的 44.217%,第二、第三主成分分别占特征根总值的 20.254%、17.116%,3 个主成分的累积贡献率为

81.587%,说明这3个主成分可以将“绿宝”苹果净光合速率81.587%的信息反映出来,因此可以提取出3个影响“绿宝”苹果净光合速率的主成分来(表3),第一主成分为气孔导度因子,其对应的贡献较大的特征向量有胞间CO₂浓度和蒸腾速率;第二主成分为有效光合辐射因子,对应的贡献较大的特征向量有蒸腾速率;第三主成分为叶绿素含量因子,对应的贡献较大的特征向量有叶面积。另外,采用通径分析法对各因素与净光合速率的关系进行了研究,其分析结果按通径系数绝对值大小排列依次为气孔导度(2.183)、蒸腾速率(-1.037)、胞间CO₂浓度(0.999)、光合有效辐射(0.576)、叶面积(0.187)、叶绿素含量(0.041),通径分析结果与主成分分析结果基本吻合。由此可知,影响“绿宝”净光合速率的主导因子是气孔导度(C)因子、有效光合辐射(PAR)因子和叶绿素含量因子。

表2 初始主成分提取结果

Table 2 Total variance explained

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取平方和载入 Extraction sums of squared loadings		
	合计 Total	方差 Variance/ %	累积 Cumulative/ %	合计 Total	方差 Variance/ %	累积 Cumulative/ %
1	2.653	44.217	44.217	2.653	44.217	44.217
2	1.215	20.254	64.471	1.215	20.254	64.471
3	1.027	17.116	81.587	1.027	17.116	81.587
4	0.915	15.253	96.840			
5	0.120	1.997	98.837			
6	0.070	1.163	100.000			

表3 主成分特征向量

Table 3 Component matrix

	成分 Component		
	1	2	3
气孔导度 Stomatal conductance(C)	0.971	0.011	0.030
胞间二氧化碳浓度 Inter-cellular CO ₂ concentration(Ci)	0.919	-0.225	0.127
蒸腾速率 Transpiration rate(E)	0.860	0.443	-0.071
有效光合辐射 Photosynthetically active radiation(PAR)	-0.180	0.963	-0.144
叶绿素含量 Chlorophyll content(Chl)	0.057	0.191	0.840
叶面积 Leaf area	0.300	-0.073	-0.528

3 讨论与结论

一般情况下,苹果的光合日变化有单峰和双峰曲线,普通“华冠”和短枝“华冠”在6月的净光合速率日变化均呈双峰曲线^[15];郑文君等^[16]研究的“礼泉短富”、“长富2号”、“皇家嘎拉”在8月的日变化为单峰曲线,高峰值出现于10:00—12:00时;王继和等^[17]研究的“金冠”、“新红星”在6月的净光合速率日变化为单峰曲线,高峰值出现在9:00—11:00时。该试验中“绿宝”苹果叶片在生长季(7、9月)中光合日变化呈单峰曲线,峰值出现在10:00—11:00时,无“午休”现象,据报道引起“午休”现象的主要因素有大气干旱和土壤干旱,而该试验测定时处于天津地区多雨、湿润的季节,大气湿度比较

高;另外,“绿宝”种植于多砾石的粘壤土中,透气性好且保水能力强,土壤湿度比较高,从而减少了中午时刻高温对其光合作用的抑制,这可能是“绿宝”苹果日变化无“午休”现象的一个解释。对于果树在每个月的光合日变化是否有差异,需要进一步的调查研究。果树的净光合速率季节变化有3个类型,一是单峰曲线,如“红富士”、“金冠”和“新红星”苹果^[17-18];二是双峰曲线,如河北核桃^[19];三是三峰曲线,如柿子^[20],造成以上差异的原因可能是由于品种特性、栽植环境(温度、光照强度)及叶片的发育状况。该试验的“绿宝”苹果净光合速率季节变化属于双峰曲线,春季和深秋净光合速率较小,夏季和初秋是光合能力较强的阶段,分别在6、9月份达到最高,这2个月处于植物生长季阶段,叶片结构发育完整,并且温度适宜植物生长。

“绿宝”苹果CO₂补偿点(CCP)和饱和点(CSP)分别为184.58、1528.58 μmol/mol, CCP和CSP反映了植物利用CO₂的能力。具有低CO₂补偿点的有“寒富”、“礼泉短富”、“华红”(87.5~150.0 μmol/mol),高CO₂补偿点的有“金冠”、“毛里斯”、“新红星”(244.1~298.8 μmol/mol)^[17,21-22]。有研究报道,苹果一般在CO₂浓度为200~1400 μmol/mol的范围内,净光合速率随CO₂浓度的上升而缓慢上升,高于1400 μmol/mol时,净光合速率基本不再增加^[11],该试验测定的“绿宝”苹果的CO₂饱和点为1528.58 μmol/mol,且其羧化效率CE=0.093,表明“绿宝”苹果利用CO₂的能力较高。光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)及表观量子效率(AQY)反映了植物利用光能的能力,相关研究也报道了这一点,如“长富2号”、“新嘎啦”及“寒富”苹果的LCP的范围是5.9~25.0 μmol·m⁻²·s⁻¹, LSP 1050~1665 μmol·m⁻²·s⁻¹^[21,23]。该试验中的“绿宝”苹果的LCP和LSP分别为44.363、1978.074 μmol·m⁻²·s⁻¹,由此可看出,“绿宝”苹果对光能的利用率较高。

光合作用受众多因素的影响,不同树种光合作用的影响因子有所不同,如影响杏净光合速率的主导因子有光合有效辐射和蒸腾速率^[24],树莓的主导因子有光量子通量密度、环境相对湿度^[25],影响美国山核桃日变化的主要因子有气孔导度、胞间CO₂浓度及光合有效辐射^[26]。“红富士”的光合影响因子为蒸腾速率、气孔导度和温度^[18]。该试验通过主成分分析和通径分析可知,影响“绿宝”苹果净光合速率的主要因子有气孔导度因子、光合有效辐射因子以及叶绿素含量因子,此结果与黄菁等^[26]、阎腾飞等^[18]的结果基本一致。所以在“绿宝”苹果的生产栽培中,可通过相应的栽培措施以保障或提高其光合能力:如施用亚精胺和铺反光膜可提高气孔导度;采取适当的种植密度,合理施肥、浇水、整形修剪等

措施,保证树体间良好的通风,提高蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、有效光合辐射以及叶片质量。

“绿宝”苹果净光合速率的年季节周期变化为双峰曲线,9月为最高峰,6月为次高峰;光合日变化为单峰曲线,无“午休”现象;对光能和 CO_2 的利用率高;影响其净光合速率的主导因子有气孔导度、有效光合辐射和叶绿素含量因子。综上可知,“绿宝”苹果具有较高的光合能力。

(该文作者还有郑鑫,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 陈景新. 河北省果树志[M]. 北京:农业出版社,1985:490.
- [2] 徐世彦,高建国,康小亚. 苹果加工品种绿宝引种与选育[J]. 中国果树,2011(3):26-28.
- [3] 王昆,朱佳满,龚欣. 我国高酸苹果生产现状及建议[J]. 落叶果树,2007(6):20-21.
- [4] 徐世彦,白海侠,郭韩玲,等. 高酸苹果的组织培养快繁技术研究[J]. 山西果树,2006(1):6-8.
- [5] 高彦明,李仲芳. 加工苹果品种“绿宝”在甘肃天水的引种试验[J]. 中国果树,2010(6):73.
- [6] DAUNY P T, JOYCE D C. 1-MCP improves storability of ‘Queen Cox’ and ‘Bramley’ apple fruit[J]. Hort Science,2002,37(7):1082-1085.
- [7] ANDREW G S, CUTHBERTSON, ARCHIEK, et al. The phenology oviposition and feeding rate of anystis baccarum, a predatory mite in Bramley apple orchards in Northern Ireland[J]. Experimental and Applied Acarology,2004(34):367-373.
- [8] MARKS M J. The response of Bramley’s seedling apple trees grown on different rootstocks to spring and autumn applied nitrogen[J]. Horticulturae, 1990,274:321-329.
- [9] MCADAM-O’CONNELL D J, MAC ANTSAOIR S, COPELAND R, et al. Progress with genetic transformation of Bramley seedling apple[J]. Tree Biotechnology, Towards the Millennium,1998:277-283.
- [10] 孙霞,柴仲平,蒋平安. ‘红富士’苹果光合特性日变化特征研究[J]. 北方果树,2010(5):4-6.
- [11] 赵同生,张新生,杨凤秋,等. 苹果光合作用研究进展[J]. 河北农业科学,2010,14(7):7-10.
- [12] 王新娟. 苹果属种质资源光合特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [13] 张婷,江文,王凯平,等. 树龄对“绿宝”苹果生长及光合特性的影响[J]. 北方园艺,2014(14):31-33.
- [14] 张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:43-45.
- [15] 张全军,阎振立,张顺妮,等. 普通华冠和短枝华冠苹果叶片光合特性比较[J]. 河南农业科学,2006(11):86-89.
- [16] 郑文君,范崇辉,韩明玉. 红富士苹果秋季叶片光合特性研究初报[J]. 西北林学院学报,2006,21(5):40-42.
- [17] 王继和,张昉明,吴春荣,等. 金冠、毛里斯、新红星苹果光合特性的研究[J]. 西北植物学报,2000,20(5):802-811.
- [18] 阎腾飞,孙耀清,王华田,等. “红富士”苹果离体/活体枝叶光合作用及水分利用效率的季节变化[J]. 北方园艺,2014(2):24-29.
- [19] 王红霞,张志华,王文江,等. 河北核桃(*Juglans hopeiensis* Hu)光合特性的研究[J]. 园艺学报,2005,32(3):392-396.
- [20] 王文江,刘永居,王永惠. 大磨盘柿树光合特性的研究[J]. 园艺学报,1993,20(2):105-110.
- [21] 赵德英,吕德国,刘国成,等. 冷凉气候区‘寒富’苹果及其亲本光合特性的研究[J]. 园艺学报,2009,36(7):945-952.
- [22] 马慧丽,吕德国,秦嗣军,等. 寒富苹果叶片发育过程中光合特性的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(14):4197-4206.
- [23] 吴亚维,王瑜,向青云,等. 贵州中部地区不同苹果品种光合特性研究[J]. 种子,2010,29(9):30-32,37.
- [24] 班明辉,王鸿,牛军强. 日光温室杏叶片净光合速率与相关因子灰色关联分析[J]. 甘肃农业科技,2007(8):14-16.
- [25] 李六林,杨佩芳,田彩芳,等. 树莓光合特性的研究[J]. 园艺学报,2003,30(3):314-316.
- [26] 黄菁,吕芳德,和晓. 美国山核桃光合作用初探[J]. 中南林业科技大学学报,2011,21(3):174-177.

Study on Photosynthetic Characteristics of ‘Bramley’ Apple and Principal Factors

ZHANG Ting¹, JIANG Wen², LIU Huiqin¹, LIU Yi¹, ZENG Lirong¹, LUO Jianxia¹, ZHENG Xin¹

(1. College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384; 2. Tianjin Cherry Valley Agricultural Technological Development Co. Ltd., Tianjin 301908)

Abstract: With 6-year-old ‘Bramley’ apple as research material, CI-340 photosynthesis equipment was used to measure photosynthetic characters in order to understand the photosynthetic characters of ‘Bramley’ apple. The results showed that two peaks appeared in the curve of seasonal variation of P_n of ‘Bramley’, the highest peak occurred in September, and the second peak occurred in the June. The diurnal variation curve of P_n appeared to be a single-peaked curve and kept the highest level at 10:00—11:00 Am (P_n $24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Some other important photosynthetic indicators including light compensation point(LCP) and saturation point(LSP), CO_2 compensation point(CCP) and saturation point(CSP), apparent quantum yield(AQY) and carboxylation efficiency(CE), which were $44.363 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $1978.074 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $184.58 \mu\text{mol}/\text{mol}$, $1528.58 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 0.038 7 and 0.093 6 respectively. The P_n of ‘Bramley’ apple was mainly influenced by 3 principal factors which were stomatal conductance(C), photosynthetic active radiation(PAR) and chlorophyll content(Chl). It concluded that ‘Bramley’ apple had high photosynthetic characters.

Keywords: ‘Bramley’ apple; photosynthetic characters; season; diurnal variation; eco-physiological factor; principal component