

扬州地区 2 个芍药品种光合生理生态特性比较

杜庆平, 孙 燕, 李成忠, 张 婷, 房 娟

(扬州环境资源职业技术学院园林园艺系, 扬州 225127)

摘 要: 利用美国产 LI-6400 便携式光合测定系统对国内普遍栽培的 2 个芍药品种‘朱砂判’和‘黄金轮’光合生理生态特性进行了比较研究。结果表明, 2 个芍药品种净光合速率(P_n)日变化均为“双峰”曲线, 最高值出现在上午 8:00, 分别是 $16.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $18.25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 2 个品种均存在明显的光合“午休”现象, 2 个品种的气孔导度($Cond$)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr)以及水分利用效率(WUE)日变化方面均存在明显差别。研究了 2 个品种净光合速率(P_n)与各因子的关系, 分别得出多元回归方程, ‘朱砂判’: $P_n = -3.9989 - 0.0008 PAR - 1.5078 Ta + 1.4596 Tleaf - 0.1038 RH + 84.767Gs + 0.0443 Ci - 0.2625 Tr$ ($R^2 = 0.975$); ‘黄金轮’ $P_n = -18.3765 + 0.0086 PAR + 0.2402 Ta + 0.3663 Tleaf + 0.4994 RH + 34.7959 Gs - 0.076Ci - 2.0367 Tr$ ($R^2 = 0.991$)。通过对 P_n 下降原因的分析, 认为引起 2 个品种 P_n 降低的原因不同, ‘朱砂判’为非气孔限制, ‘黄金轮’为气孔限制。

关键词: 芍药; 品种; 光合特性; 净光合速率

中图分类号: S682.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2011)06-0935-05

Comparison of photosynthetic characteristics between two herbaceous peony (*Paeoniaceae*) cultivars

DU Qing-ping, SUN Yan, LI Cheng-zhong, ZHANG Ting, FANG Juan

(Department of Landscape Architecture and Horticulture, Yangzhou Vocational College of Environment and Resources, Yangzhou 225127)

Abstract: The photosynthetic characteristics of two herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall., *Paeoniaceae*) cultivars were studied by the portable photosynthesis system (LI-6400). The results showed that diurnal changes of net photosynthetic rates (P_n) in leaves of the two cultivars presented a typical bimodal curve; both had ‘Midday depression’ phenomenon, and the highest P_n for ‘Zhusha Pan’ and ‘Huang Jinlun’ was $16.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $18.25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively at 8:00 A.M. There was significant difference in stomatal conductance ($Cond$), intercellular CO_2 concentration (C_i), transpiration rate (Tr) as well as water usage efficiency (WUE) between two cultivars. The relationship between P_n and other factors for photosynthesis with each cultivar was studied, and the equations were $P_n = -3.9989 - 0.0008 PAR - 1.5078 Ta + 1.4596 Tleaf - 0.1038 RH + 84.767Gs + 0.0443 Ci - 0.2625 Tr$ ($R^2 = 0.975$) and $P_n = -18.3765 + 0.0086 PAR + 0.2402 Ta + 0.3663 Tleaf + 0.4994 RH + 34.7959 Gs - 0.076Ci - 2.0367 Tr$ ($R^2 = 0.991$), respectively. The reason for the depression of P_n for two cultivars was different, for ‘Zhusha Pan’, the reason is non-stomatal factor, and for ‘Huang Jinlun’, however, it is stomatal factors.

Key words: herbaceous peony; cultivar; photosynthetic characteristics; net photosynthetic rate

芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)是我国传统名花, 位列“花相”, 在华北、华东、华中以及甘肃兰州等地区广泛栽培^[1-2], 已有 2000 多年的栽培历史^[3]。我国观赏芍药栽培主要集中在江苏扬州、山东菏泽以及河南洛阳等地区, 用作花境、布置花坛、盆栽以及切花生产等^[4]。扬州芍药栽培历史悠久, 宋朝

更有“扬州芍药为天下冠”之说。本世纪以来, 芍药在瘦西湖风景区、茱萸湾公园等处栽培日益繁盛, 并于 2004 年增补为扬州市市花^[5]。‘黄金轮’和‘朱砂判’为扬州地区普遍栽植的芍药品种, 二者株型中等, 花色艳丽, 具有较高的观赏价值。

叶片的光合能力是植物生物产量形成的直接动

收稿日期: 2011-07-12

基金项目: 江苏省 2011 年大学生实践创新训练计划立项项目(苏教高(2011)25 号)资助。

作者简介: 杜庆平, 男, 副教授。E-mail: yzduqingping@126.com

力,对植物的栽培、生产及应用起着至关重要的作用^[6]。植物光合作用主要受光合有效辐射、气温、相对湿度等环境因子以及气孔导度、胞间CO₂浓度、蒸腾速率、水分利用效率等生理因子的共同影响^[7-8]。作者通过对扬州地区2个芍药品种自然生长状况下光合生理生态因子的测定,探讨不同品种之间光合生理生态特性的差异,以期对扬州乃至长江中下游地区观赏用芍药的栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

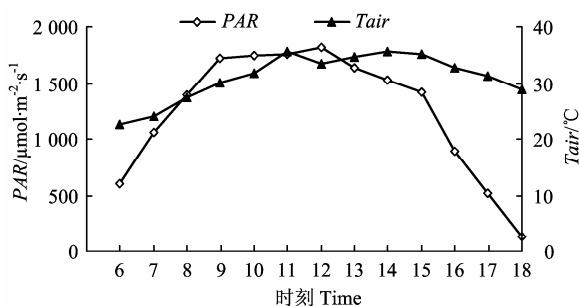
1.1 材料

供试材料芍药品种‘黄金轮’和‘朱砂判’。上述2个品种各100株集中种植于扬州环境资源职业技术学院生态园林园艺实训基地,水肥管理条件一致。

1.2 方法

2009年5月下旬,选择晴朗无风的天气,利用美国产LI-6400便携式光合测定系统(Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, USA),进行芍药净光合速率(P_n , net photosynthetic rate)日变化测定,测定时间为6:00~18:00。测定时,选择植株向阳面自顶端数第3-4枚复叶的中间小叶,重复6次。为消除时间上的误差,每次重复测定时,各品种间采取随机测定。仪器同时记录各品种气孔导度($Cond$)、蒸腾速率(Tr)、胞间CO₂浓度(C_i)等光合生理因子变化及有效光辐射(PAR)、气温(T_a)、叶温(T_{leaf})、相对湿度(RH)相关光合生态因子变化。水分利用效率(WUE)采用Fischer and Turner^[9]的方法进行计算: $WUE=P_n/Tr$ 。

试验所得数据利用Excel 2003进行统计及分析。



2 结果与分析

2.1 芍药品种光合生态因子日变化

图1为测定当天的光合有效辐射 PAR 、大气温度 T_a 、相对湿度 RH 以及2个品种叶片温度 T_{leaf} 日变化。各光合生态因子日变化均大致呈单峰曲线。其中 PAR 变化幅度最大,早晚的数值均较低,12:00达到一天中的最大值,1823.59 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。 PAR 的变化引起了 T_a 、 T_{leaf} 以及 RH 的相应变化。

2个品种的 T_a 和 RH 数值的差别较小,其中 T_a 和 T_{leaf} 的日变化趋势基本一致, RH 在早上6:00数值最高,此后,随着 PAR 和 T_a 的升高而降低,14:00达到最低,随后随着 PAR 和 T_a 的下降又有所回升。因此,各生态因子的变化基本表明试验当天是典型的晴朗天气。

2.2 芍药品种光合生理因子日变化

2.2.1 净光合速率 如图2所示,晴天2个芍药品种‘朱砂判’和‘黄金轮’的净光合速率随时间变化的趋势一致,均呈双峰曲线,上午为高峰,下午为低峰,具有明显“午休”现象。上午6:00~8:00,2个品种的净光合速率均迅速增加,且在8:00出现第一个峰值,也是全天净光合速率的最高值,分别是16.33 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和18.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随后,2个品种净光合速率开始迅速下降,‘朱砂判’在13:00时下降至7.72 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,之后2个品种净光合速率又缓慢回升,到16:00时下降至6.28 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,‘黄金轮’在14:00达到第2个峰值,随后,净光合速率迅速下降,到18:00达到全天最低值,分别是3.69 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和3.06 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

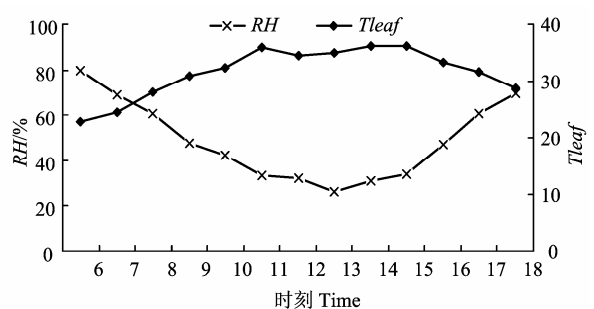


图1 芍药品种光合生态因子日变化

Figure 1 Diurnal changes of photosynthetic ecological characteristics of *Paeonia lactiflora*

2.2.2 气孔导度 2个品种气孔导度的日变化规律与净光合速率日变化基本一致(图3),第1个峰值出现在8:00,亦是全天最高值,分别是0.2和0.31 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随后,气孔导度迅速下降,‘朱砂判’在14:00时下降至0.04 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,‘黄金轮’在

15:00时下降至0.05 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,之后缓慢回升,到16:00均达到第2个峰值,同为0.07 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,然后,迅速下降,直到18:00达到全天最低值,均为0.02 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

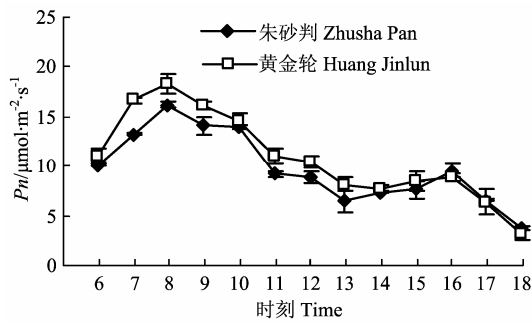


图 2 芍药净光合速率日变化

Figure 2 Diurnal change of P_n for *Paeonia lactiflora*

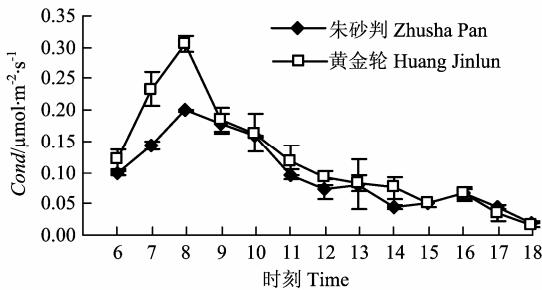


图 3 芍药气孔导度日变化

Figure 3 Diurnal changes of $Cond$ for *Paeonia lactiflora*

2.2.3 胞间 CO_2 浓度 2 个品种胞间 CO_2 浓度日变化为倒抛物线(图 4), 6:00~9:00 下降的速度和 14:00~18:00 上升的速度均很快, 而 9:00~14:00 期间则保持在 $240\sim 281\mu mol\cdot mol^{-1}$ 之间。

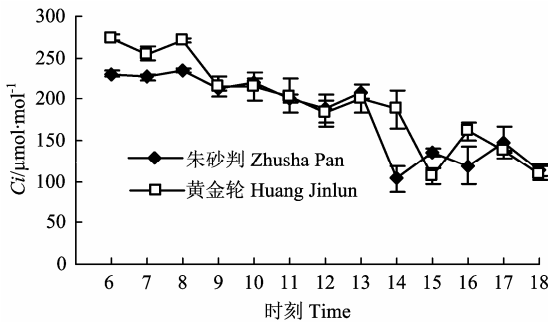


图 4 芍药胞间 CO_2 浓度日变化

Figure 4 Diurnal changes of C_i for *Paeonia lactiflora*

2.2.4 蒸腾速率 蒸腾速率日变化方面(图 5), 2 个品种均在中午之前达到一天中的最大值, 其中‘朱砂判’在 10:00, 为 $4.37\text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$, ‘黄金轮’在 11:00, 为 $4.76\text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 随后, 蒸腾速率迅速下降, 16:00 时小幅升高后迅速下降。

2.2.5 水分利用效率 2 个品种的水分利用效率总体上呈“倒抛物线”形状(图 6), 从 6:00 开始, 2 个品

种的 WUE 从较高的数值随着蒸腾速率的升高而持续下降, 中午前后 WUE 维持在很低的水平, 随后又随着蒸腾速率的下降而迅速升高。

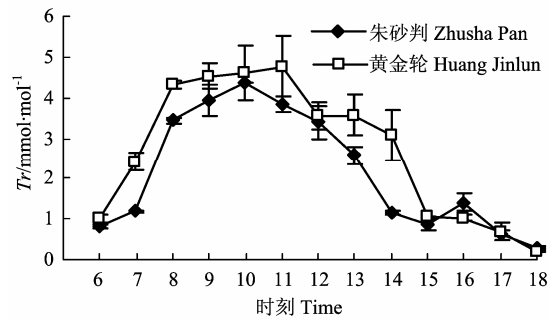


图 5 芍药蒸腾速率日变化

Figure 5 Diurnal changes of Tr for *Paeonia lactiflora*

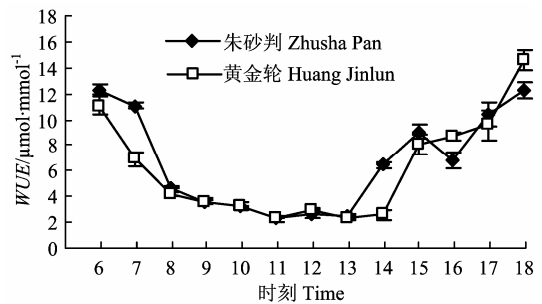


图 6 芍药水分利用效率日变化

Figure 6 Diurnal changes of WUE for *Paeonia lactiflora*

2.3 芍药品种叶片净光合速率与各因子的关系

叶片净光合速率 P_n 既受 PAR 、 T_a 、 T_{leaf} 、 RH 等光合生态因子的影响, 同时也受 Tr 、 $Cond$ 、 C_i 的影响, 并且各因子对 P_n 的影响大小不一, 通过对上述各因子进行多元回归分析, 可以看出各因子对 P_n 的影响程度。‘朱砂判’和‘黄金轮’净光合速率的多元回归方程分别是: 朱砂判 $P_n = -3.9989 - 0.0008 PAR - 1.5078 Ta + 1.4596 T_{leaf} - 0.1038 RH + 84.767 Cond + 0.0443 C_i - 0.2625 Tr$ ($R^2 = 0.975$); 黄金轮 $P_n = -18.3765 + 0.0086 PAR + 0.2402 Ta + 0.3663 T_{leaf} + 0.4994 RH + 34.7959 Cond - 0.076 C_i - 2.0367 Tr$ ($R^2 = 0.991$)。

由两公式可知, 决定‘朱砂判’净光合速率 P_n 的因子由大到小的顺序为 $Cond$ 、 T_a 、 T_{leaf} 、 Tr 、 RH 、 C_i 、 PAR ; 决定‘黄金轮’ P_n 的因子由大到小的顺序为 $Cond$ 、 Tr 、 RH 、 T_{leaf} 、 T_a 、 C_i 、 PAR 。表 1 和表 2 为两品种光合各因子的相关分析。从表 1 中可以看出, ‘朱砂判’ T_a 和 T_{leaf} 显著正相关(0.991^{**}), 根据其回归方程中二者的决定系数(-1.5078 和

1.4596)可以将二者对 P_n 的影响大致相互抵消,因此,影响‘朱砂判’芍药最重要的因子为 $Cond$ (0.972**) 和 Tr (0.611*), Ci 和 PAR 虽起作用较小,但它们可通过其它因子对 P_n 产生影响(如 Tr 等)。根据表 2, ‘黄金轮’ RH 与 Ta 和 $Tleaf$ 显著负相关(-0.947**,

-0.945**), Ta 和 $Tleaf$ 显著正相关(0.995**), 对其回归方程进行综合分析,可知影响‘黄金轮’芍药最重要的因子为 $Cond$ (0.952**)、 Tr (0.649*)和 RH , 其它因子可通过 RH 与 Tr 等对 P_n 产生影响。

表 1 朱砂判芍药光合各因子相关分析
Table 1 Correlation analysis of factors for photosynthesis of ‘Zhusha Pan’

因子 Factor	P_n	PAR	Ta	$Tleaf$	RH	G_s	C_i	Tr
P_n	1	0.415	-0.413	-0.346	0.311	0.972**	-0.373	0.611*
PAR		1	0.519	0.569*	-0.672*	0.401	-0.827**	0.799**
Ta			1	0.991**	-0.958**	-0.440	-0.507	0.230
$Tleaf$				1	-0.964**	-0.386	-0.575*	0.277
RH					1	0.336	0.639*	-0.343
G_s						1	-0.396	0.665*
C_i							1	-0.801**
Tr								1

注: *、**分别为0.05及0.01水平上的显著性差异。下同。

Note: “*” and “**” refer to the different significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

表 2 黄金轮芍药光合各因子相关分析
Table 2 Correlation analysis of factors for photosynthesis of ‘Huang Jinlun’

因子 Factor	P_n	PAR	Ta	$Tleaf$	RH	G_s	C_i	Tr
P_n	1	0.485	-0.410	-0.381	0.284	0.952**	-0.139	0.649*
PAR		1	0.519	0.541	-0.683*	0.341	-0.865**	0.869**
Ta			1	0.995**	-0.947**	-0.497	-0.694**	0.252
$Tleaf$				1	-0.945**	-0.481	-0.689**	0.259
RH					1	0.403	0.837**	-0.398
G_s						1	-0.012	0.593*
C_i							1	-0.779**
Tr								1

3 讨论

3.1 不同芍药品种的光合特性存在差异

植物不同品种间的光合特性存在明显差异,如油橄榄^[10]、国兰^[11]、樱桃^[12]、扁桃^[13]、牡丹品种^[14]等。本试验 2 个芍药品种在净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率以及水分利用效率方面均存在明显差别。并且在下午 15:00 之前, P_n 、 G_s 、 Tr 3 个指标的数值均为‘黄金轮’>‘朱砂判’, 随后则‘朱砂判’3 个指标的数值均大于‘黄金轮’或数值非常接近。这可能与品种之间遗传背景的不同,从而造成其对环境的适应能力存在差异,并可推测‘朱砂判’对弱光的利用能力要高于‘黄金轮’。

3.2 芍药品种差异导致净光合速率下降原因不同

植物叶片 P_n 下降的自身因素主要是气孔的部分关闭以及叶肉细胞光合活性的下降。判断叶片 P_n

下降究竟是气孔因素还是非气孔因素的方法是:若 G_s 降低的同时, C_i 降低,则为气孔限制;若 C_i 升高,则为非气孔限制^[15]。本试验研究了晴天 2 个芍药品种花后净光合速率的日变化规律,从图 2 可以看出,2 个品种的 P_n 均在上午 8:00 达到最大值后迅速下降,即存在明显的光合“午休”现象。而与此同步变化的气孔导度以及胞间 CO_2 浓度则有不同的变化趋势,两个品种 G_s 的变化趋势与 P_n 基本一致,这也可从随后得到的多元回归方程中得到印证。而胞间 CO_2 浓度方面,‘朱砂判’在 9:00 时 C_i 降低,随后呈逐渐升高的趋势,‘黄金轮’则呈逐渐下降的趋势。由此说明二者净光合速率下降的原因不同。‘朱砂判’午间 P_n 下降是由非气孔因素引起的,结合其下午 P_n 的恢复情况,可初步判断此阶段其发生了光合系统 II (Ps II) 反应中心的可逆失活;‘黄金轮’午间 P_n 的下降则是由于气孔的部分关闭引起的。

而有关气孔限制与非气孔限制的具体原因有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李嘉珏. 中国牡丹与芍药[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [2] 秦魁杰, 李嘉珏. 芍药[M]. 上海: 上海科技出版社, 2000.
- [3] 刘玉梅. 观赏芍药生态习性及其栽培技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(12): 4965-4967, 4969.
- [4] 秦魁杰. 芍药[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [5] 黄永高, 何小弟, 金飏, 等. 扬州芍药种质资源现状的鉴定与评价[J]. 江苏农业科学, 2006(6): 177-180.
- [6] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 8-10.
- [7] Li C Z, Kong F, Sun Y, et al. Ecophysiological Characteristics of Herbaceous Peony (Paeoniaceae) 'Da Fugui'[C]/2009 academic conference on horticulture science and technology. Proceedings, 2009: 63-66.
- [8] 谷艳芳, 高志英, 邢倩, 等. 黄淮海平原冬小麦 (*Triticum aestivum*) 旗叶的生理生态特性[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3465-3471.
- [9] Fischer R A, Turner N C. Plant production in the arid and semiarid zones[J]. Annu Rev Plant Phys, 1978, 29: 277-317.
- [10] Proitti P, Famiani F. Diurnal and seasonal changes in photosynthetic characteristics in different olive (*Olea europaea* L.) cultivars [J]. Photosynthetica, 2002, 40(2): 171-176.
- [11] 李鹏民, 高辉远, 邹琦, 等. 5 种国兰(*Cymbium*)的光合特性[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 151-154.
- [12] 杨江山, 常永义, 种培芳. 3 个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(5): 773-777.
- [13] 李延菊, 李宪利, 张序, 等. 3 个扁桃品种的光合特性[J]. 林业科学, 2006, 42(11): 23-28.
- [14] 侯小改. 4 个牡丹品种光合特性的比较研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(5): 527-530.
- [15] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.

本刊顾问 束怀瑞院士

束怀瑞, 男, 汉族, 1929 年 9 月 26 日生, 山东淄博人。中共党员。1950 年山东农学院园艺系毕业。1950 年起历任山东农业大学(原山东农学院)助教、讲师、副教授、教授。曾兼任山东省园艺学会理事长, 农业部教学指导委员会委员、园艺学科组副组长。现兼任中国园艺学会常务理事, 山东省人民政府农业专家顾问团林果分团团长, 山东省苹果工程技术研究中心主任, 山东省良种产业化工程果树首席专家。2001 年 12 月当选中国工程院院士。

束怀瑞教授从事果树栽培、生理和生产的教学科研及推广工作 51 年, 在果树碳氮营养、根系生物学和丰产技术原理方面具有创造性、国内领先(部分国际先进)的系统理论成果, 在国内外果树界有一定影响。获国家科技进步二等奖 1 项、省部级科技进步一等奖 2 项、二等奖 4 项, 成果应用创造了巨额经济效益。发明的“地膜覆盖穴贮肥水技术”被国家科委列为“七·五”和“八·五”重点推广项目, 在 17 省市推广 470 万亩, 新增产值 7.6 亿元; “山东省百万亩苹果幼树丰产优质技术开发研究”开发 108 万亩, 单产由 129 kg 提高到 1010 kg, 接近世界发达国家水平, 纯增效益 56 亿元; 积极倡导和推广保护地生产, 创建了果树保护生产技术新体系。由于科技工作成就突出, 1997 年获中华农业科技奖, 1999 年获全国科普先进工作者, 2001 年获全国农业科技先进工作者。主参编教材专著 6 部, 发表论文 30 余篇, 率领山东农业大学果树学科建成硕士点、博士点和博士后流动站, 培养硕士 28 人、博士 19 人, 指导博士后 11 人, 现主持 948 项目 2 项, 科技部果品加工 1 项, 山东省良种产业化工程重大项目 3 项, 参与 2116 计划制订, 为现代农业做出了突出贡献。