

不同施肥处理对香梨膨果期光合特性的影响

柴仲平¹, 王雪梅², 孙霞¹, 陈波浪¹, 盛建东¹, 徐超¹

(1. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

摘 要:在田间条件下,利用 CIRAS-2 型光合仪对不同施肥处理的库尔勒香梨膨果期光合特性日变化进行了测定。结果表明:香梨叶片净光合速率日变化表现为双峰曲线,峰型较弱或不明显,具有光合“午休”现象。气孔导度和气孔限制值的日变化与净光合速率日变化基本保持一致,呈双峰型,气孔导度峰型明显而气孔限制值峰型较弱。胞间 CO₂ 浓度日变化与净光合速率相反,呈双谷型。蒸腾速率日变化曲线呈单峰型,水分利用效率日变化则呈单谷型。施肥对香梨叶片的叶绿素含量、叶面积指数和光合特性都有显著影响。不同施肥处理下,香梨叶片的叶绿素含量和叶面积指数施肥效应均表现为:N>P>K。光合特性施肥效应各不相同,净光合速率与水分利用效率表现为:K>P>N,蒸腾速率表现为:P>N>K,气孔导度表现为:K>N>P。

关键词:库尔勒香梨;施肥;膨果期;光合特性

中图分类号:S661.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0151-05

Influence of Different Fertilization Treatments on Photosynthetic Characteristics of Fruit Enlargement Stage of Korla Fragrant Pear

CHAI Zhong-ping¹, WANG Xue-mei², SUN Xia¹, CHEN Bo-lang¹, SHENG Jian-dong¹, XU Chao¹

(1. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China; 2. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: The diurnal variation curves of photosynthetic characteristics of fruit enlargement stage of korla fragrant pear under different fertilization treatments were measured by portable photosynthesis system CIRAS-2 under the field conditions. The results showed that the diurnal variation curves of Pn of Korla Fragrant Pear presented double-apex curves, double-apex was weak or not obvious, and had a phenomenon of photosynthetic ‘noon breaking’. The diurnal variation curves of Gs and Ls were same as Pn, they also showed double-apex curves, but the double-apex of Gs was obvious, the double-apex of Ls was weak. The diurnal variation curves of Ci were contrary with Pn, they showed double-valley curves. The diurnal variation curves of Tr presented single-apex curves, but the diurnal variation curves of WUE showed single-valley ones. It could cause obvious impacts on chlorophyll content, LAI and photosynthetic characteristics of Korla Fragrant Pear. Under different fertilization treatments, the roles of fertilizer N, P and K to chlorophyll content and LAI of Korla Fragrant Pear were in the order of N>P>K. The photosynthetic characteristics were different, the roles of fertilizer N, P and K in Pn and WUE of Korla Fragrant Pear leaves were in the order of K>P>N, Tr of Korla Fragrant Pear leaves was in the order of P>N>K, and Gs of Korla Fragrant Pear leaves was in the order of K>N>P.

Key words: Korla fragrant pear; fertilization; fruit enlargement stage; photosynthetic characteristics

光合作用形成的物质是树体生长和果实产量的基础,是构成果品品质的决定性因素,因而果树光合特征研究,成为果树生理的重点研究方向^[1-6]。在自

然条件下,果树叶片的净光合速率受到光合有效辐射、CO₂ 浓度、气温、相对湿度等多个环境因子的影响,同时光、温、水、气等生态因子的变化也可引起果

收稿日期:2012-08-16

修回日期:2012-09-28

资助项目:自治区“十二五”科技计划项目“果园土壤肥力提升与果树产量、品质调控研究”(201130102-2);土壤学自治区重点学科资助

作者简介:柴仲平(1974—),男,甘肃永昌人,博士研究生,副教授,主要研究方向为土壤质量、植物营养。E-mail:zhongpingchai@yahoo.com.cn

通信作者:盛建东(1970—),男,甘肃秦安人,博士,教授,主要研究方向为土壤质量空间变异和养分资源高效利用。E-mail:sjd_2004@126.com

树生理因子的变化,外在生态环境条件和内在生理因子共同影响着果树的光合作用特性^[7-8]。在梨光合作用研究方面以个别品种的光合速率和光合日变化研究较多^[9-14],已有研究认为,不同种梨在饱和光强下的净光合速率大小有差异^[15-16]。晴天和阴天梨的净光合速率日变化曲线表现不一^[11],不同季节梨净光合速率日变化曲线也有差异^[9,12]。在逆境条件下梨净光合速率日变化曲线会发生变化^[6]。本研究通过田间调控肥料三要素氮、磷、钾,研究在不同营养元素胁迫下,香梨膨果期叶片叶绿素含量、叶面积指数和光合特性的生理变化,旨在探讨库尔勒香梨对土壤养分氮素、磷素、钾素的响应程度及对环境的适应过程和机制。以期提高香梨的光合效率,进而为提高产量、改善果品品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选在新疆库尔勒市恰尔巴格乡下和什巴格村 5 队(41°48′21″N,86°04′22″E),海拔 918.7 m,地处天山南麓,塔里木盆地东北边缘,孔雀河冲洪积平原上。属暖温带大陆性干旱气候,年平均气温 14~15℃,年降水量 50~55 mm,年最大蒸发 2 788.2 mm。年总辐射 6 343 MJ/m²,日照时数 2 889 h,≥0℃积温平均为 4 700℃,≥10℃积温 4 278℃,无霜期 180~200 d。主导风向为东北风,土壤类型主要为黏壤土,土壤有机质含量 21.26 g/kg,碱解氮 46.22 mg/kg,有效磷 14.35 mg/kg,速效钾 168.92 mg/kg。

1.2 研究材料与试验设计

本文以库尔勒香梨为研究对象,选取具有代表性中肥力果园一个,设置 CK(N₀P₀K₀)、缺氮(N₀PK)、缺磷(NP₀K)、缺钾(NPK₀)、和氮、磷、钾全施(NPK)五个处理,试验方案详见表 1。依据香梨果树株行距的大小,每处理选取 5~6 棵果树,每个处理三次重复,随机排列。肥料选用尿素(含 N 为 46%)、重过磷酸钙(含 P₂O₅ 为 46%)和硫酸钾(含 K₂O 51%)。尿素施用量以每处理 60%在果树萌芽前施用(N₀处理除外),剩余 40%在果前期追施。磷肥和钾肥在萌芽前一次性施入,施用方式为沟施。灌溉采用常规灌溉,其它田间管理措施与当地相同。供试树种为 20 a 树龄的香梨(*Pyrus bretschneideri* Rehd.),嫁接砧木为杜梨(*Pyrus betulifolia* Bge.),株行距 5 m×6 m。试验小区的立地条件相同,土壤水分、肥力等条件相近,均生长良好。

表 1 施肥试验方案

处理号(代码)		养分用量/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
2	N ₀ PK	0	300	60
3	NP ₀ K	300	0	60
4	NPK ₀	300	300	0
5	NPK	300	300	60

1.3 测定方法

试验于香梨膨果时期(2012 年 8 月 6 日,晴天)进行,分别测定叶片叶绿素含量、叶面积指数及光合特性。用 SPAD-502 型手持叶绿素仪测定叶片的叶绿素含量;用 LAT 2000 型冠层分析仪测定叶面积指数;自然光照下,用 CIRAS—2 型光合仪对叶片进行不离体测定,从早晨 9:30(北京时间,下同上)开始测定至下午 19:30,每隔 2 h 测定 1 次,3 个重复。测定项目包括光合有效辐射[PAR,μmol/(m²·s)],气温(Ta,℃)、空气 CO₂ 浓度(Ca,μmol/mol)等环境因子指标,以及净光合速率[Pn,μmol/(m²·s)]、蒸腾速率[Tr,mmol/(m²·s)]、胞间 CO₂ 浓度(Ci,μmol/mol)、气孔导度[Gs,μmol/(m²·s)]等光合生理特性指标。根据记录参数计算气孔限制值 Ls^[17]和水分利用效率 WUE^[18],其公式分别为:Ls=1-(Ci/Ca),WUE=Pn/Tr。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel、DPS 数据处理系统对环境因子和光合生理特性指标数据进行处理与分析,并完成制图。

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化

自然条件下果树叶片的光合特性受光合有效辐射、CO₂ 浓度、气温、相对湿度等多个环境因子的影响。本研究主要测定光合有效辐射、大气 CO₂ 浓度和大气温度 3 个外界环境指标(表 2)。由表 2 可知,在测定的外界环境因子指标中,光合有效辐射(光强)的变化幅度最大,由 9:30 开始[1 282.2 μmol/(m²·s)]随时间的推移逐渐升高,15:30 达到最大值,为 1 573.2 μmol/(m²·s),之后逐渐降低,19:30 时降到最低值,为 864.6 μmol/(m²·s);气温由 9:30 时的 25.85℃逐渐升高,至 15:30 时达到最高值 32.60℃,随后气温逐渐下降;大气 CO₂ 浓度在 9:30 时值最大,为 359.2 μmol/mol,由于果树叶片光合作用的消耗使大气中 CO₂ 浓度下降,至 13:30 时达到最低值,为 295.9 μmol/mol,随后呈波状上升。大气 CO₂ 浓度整体变化幅度相对较小,平均值为 331.68 μmol/mol。

表 2 环境因子日变化

环境因子	9:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30
光强/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	1282.2d	1358.4c	1465.8b	1573.2a	1321.4c	864.6e
大气温度/ $^{\circ}\text{C}$	25.85e	29.32c	31.18b	32.60a	31.50ab	27.35d
大气 CO_2 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	359.2a	331.3b	295.9d	329.9b	321.3c	352.5a

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同施肥处理对叶绿素含量和叶面积指数的影响

不同施肥处理下香梨叶片的叶绿素含量及叶面积指数测定结果如图 1 所示。叶绿素含量随着土壤中施入氮、磷、钾素量的变化,出现了较大幅度的波动,叶绿素含量最高值(38.08)出现在氮、磷、钾全施(NPK)处理中,最低值(35.64)出现在氮、磷、钾都不施($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$)处理中,说明施肥对香梨叶片的叶绿素含量有显著影响。不同施肥处理下,香梨叶片的叶绿素含量表现为: $\text{NPK}(38.08\text{a})>\text{NPK}_0(37.32\text{a})>\text{NP}_0\text{K}(37.12\text{a})>\text{N}_0\text{PK}(36.29\text{a})>\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0(35.64\text{a})$,说明在香梨叶片

叶绿素含量施肥效应方面 $\text{N}>\text{P}>\text{K}$ 。叶面积指数也随着土壤中氮、磷、钾施入量的变化,出现不同程度的波动,其最大值(3.12)出现在氮、磷、钾全施(NPK)处理中,最小值(2.39)出现在氮、磷、钾都不施($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$)处理中,说明施肥对香梨的叶面积指数也有显著影响。不同施肥处理下,香梨的叶面积指数表现为: $\text{NPK}(3.12\text{a})>\text{NPK}_0(2.90\text{b})>\text{NP}_0\text{K}(2.87\text{b})>\text{N}_0\text{PK}(2.68\text{c})>\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0(2.39\text{d})$,与香梨叶片叶绿素含量变化相同,香梨叶面积指数的施肥效应也表现为: $\text{N}>\text{P}>\text{K}$ 。

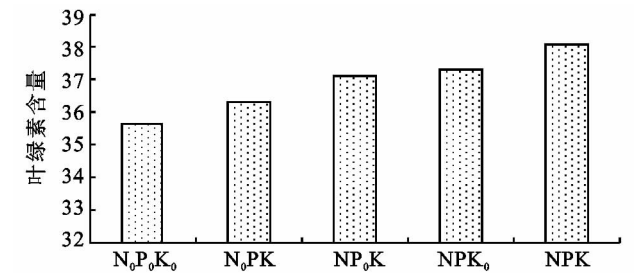
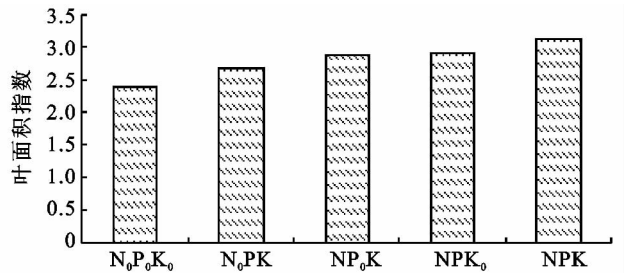


图 1 不同施肥处理下的香梨叶片叶绿素含量和叶面积指数



2.3 不同施肥处理对净光合速率(Pn)日变化的影响

不同施肥处理下的香梨叶片净光合速率日变化(图 2)表明,不同施肥处理下香梨叶片的净光合速率日变化均呈双峰曲线,但峰型较弱或不明显,在日变化过程中双峰出现时间和峰值大小有一定的差异。净光合速率第一次峰值分别出现在 11:30 时($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$, NP_0K)和 13:30 时。第二次峰值出现在 17:30 时,不同施肥处理之间保持一致。香梨叶片净光合速率第一次峰值都较第二次峰值高,以净光合速率的第一次峰值为例,最大峰值 $11.1\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 出现在氮、磷、钾全施(NPK)的第 5 组处理中,最小峰值 $7.0\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 出现在氮、磷、钾都不施($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$)的第 1 组处理中,说明施肥对香梨叶片的净光合速率有显著影响。不同施肥处理下,香梨叶片净光合速率第一次峰值表现为: $\text{NPK}(11.1\text{a})>\text{N}_0\text{PK}(7.8\text{b})>\text{NP}_0\text{K}(7.3\text{bc})>\text{NPK}_0(7.1\text{c})>\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0(7.0\text{c})$,即香梨叶片净光合速率的施肥效应表现为: $\text{K}>\text{P}>\text{N}$ 。

2.4 不同施肥处理对蒸腾速率(Tr)及其日变化的影响

不同施肥处理下香梨叶片的蒸腾速率日变化均呈单峰曲线(图 3)。在早上 9:30 时最小,此后随着大

气温度和光强的持续上升,蒸腾速率开始上升,9:30—13:30 之间上升较为迅速,13:30—15:30 上升极为缓慢,15:30 时蒸腾速率达到最大。之后随着大气温度和光强的逐渐下降,蒸腾速率也开始回落。香梨叶片蒸腾速率日变化最大峰值 $4.75\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,出现在氮、磷、钾全施(NPK)的第 5 组处理中,最小峰值 $4.18\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,出现在氮、磷、钾都不施($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$)的第 1 组处理中,说明施肥对香梨叶片的蒸腾速率有显著影响,在土壤中适度减少氮、磷、钾素的施入量可以很好地降低香梨叶片的蒸腾速率,减少土壤水分损耗。不同施肥处理下香梨叶片蒸腾速率峰值表现为: $\text{NPK}(4.75\text{a})>\text{NPK}_0(4.54\text{ab})>\text{N}_0\text{PK}(4.43\text{ab})>\text{NP}_0\text{K}(4.26\text{b})>\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0(4.18\text{b})$,香梨叶片蒸腾速率的施肥效应表现为 $\text{P}>\text{N}>\text{K}$ 。

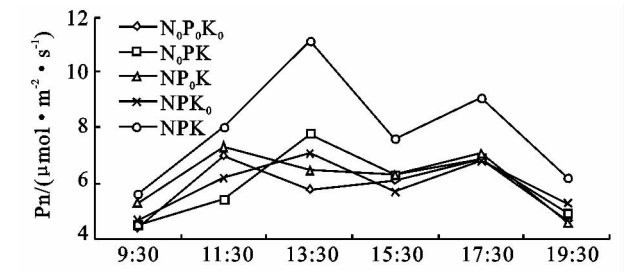


图 2 不同施肥处理下的香梨叶片净光合速率日变化

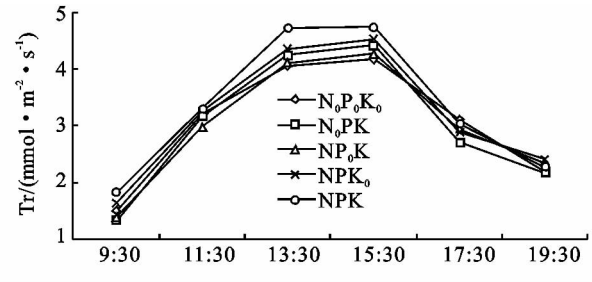


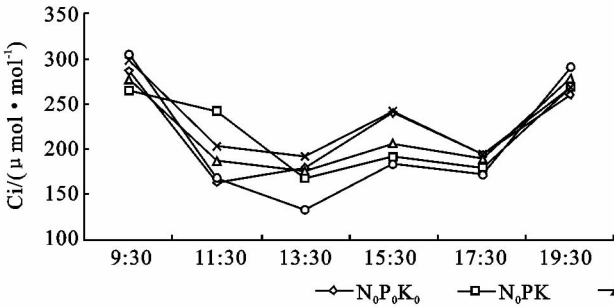
图 3 不同施肥处理下的香梨叶片蒸腾速率日变化

2.5 不同施肥处理对气孔导度(Gs)及其日变化的影响

气孔导度是反映气孔运动的一项重要的生理指标。不同施肥处理下香梨叶片的气孔导度日变化曲线呈双峰型(图 4),但在日变化过程中双峰出现的时间和峰值大小却呈现出一定的差异。气孔导度第一次峰值分别出现在 11:30 时(N_0PK)和 13:30 时。第二次峰值出现在 17:30 时,不同施肥处理之间保持一致。香梨叶片气孔导度第一次峰值都较第二次峰值高,与净光合速率峰值变化相同。以叶片气孔导度的第一次峰值为例,最大峰值 $220 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,出现在氮、磷、钾全施(NPK)的第 5 组处理中,最小峰值 $180 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,出现在氮、磷、钾都不施($N_0P_0K_0$)的第 1 组处理中,说明施肥对香梨叶片的气孔导度有显著影响。不同施肥处理下,香梨叶片气孔导度第一次峰值表现为: $NPK(220a) > NP_0K(215a) > N_0PK(210a) > NPK_0(190b) > N_0P_0K_0(180b)$,香梨叶片气孔导度的施肥效应表现为: $K > N > P$ 。

2.6 不同施肥处理对胞间 CO_2 浓度(Ci)和气孔限制值(Ls)及其日变化的影响

胞间 CO_2 是光合作用的主要原料之一,叶片胞间 CO_2 浓度的变化可反映叶片进行光合作用的过程^[19]。



不同施肥处理下香梨叶片胞间 CO_2 浓度(图 5)的日变化曲线与净光合速率(图 2)相反,呈双谷型。胞间 CO_2 浓度从 9:30 时开始降低,分别在 11:30 时($N_0P_0K_0$)和 13:30 时达到最低,因为在该时间段净光合速率在逐渐升高, CO_2 同化加快。11:30 时和 13:30 时之后净光合速率开始下降,胞间 CO_2 浓度开始升高,在 15:30 时叶片净光合速率出现午休现象,胞间 CO_2 浓度则达到一个相对较高的水平。之后随着净光合速率的升高,胞间 CO_2 浓度又随之降低,在 17:30 时达到一个相对低谷,随后因净光合速率的减弱,植物对 CO_2 的利用能力下降,同时呼吸作用所释放的 CO_2 积聚在细胞间隙中,使胞间 CO_2 浓度上升。气孔限制值的日变化曲线基本上与净光合速率相同,呈双峰型,但峰型较弱或不明显。

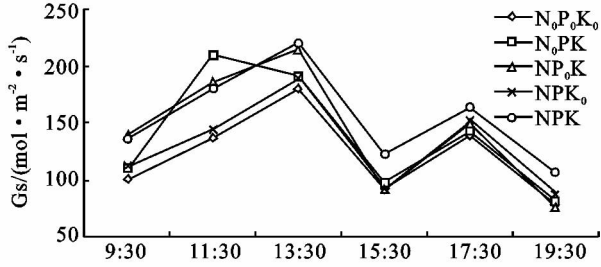


图 4 不同施肥处理下的香梨叶片气孔导度日变化

当胞间 CO_2 浓度升高时气孔限制值降低,当净光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相反,胞间 CO_2 浓度升高时气孔限制值降低,表明净光合速率降低的主要原因是非气孔因素;当净光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相同,胞间 CO_2 浓度降低的同时气孔限制值升高,说明净光合速率降低的主要原因是由于气孔关闭引起的气孔因素^[17]。因此,香梨午间净光合速率开始下降是由非气孔因素引起的。

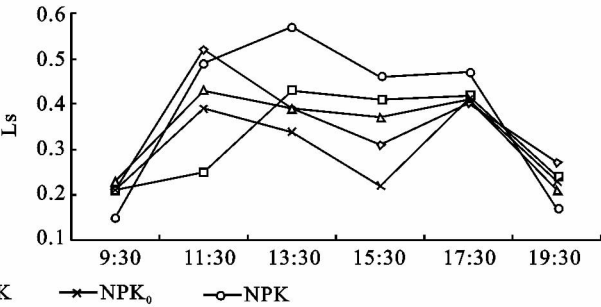


图 5 不同施肥处理下的香梨叶片胞间 CO_2 浓度和气孔限制值日变化

2.7 不同施肥处理对水分利用效率(WUE)及其日变化的影响

香梨叶片的水分利用效率日变化曲线呈单谷型(图 6)。在上午 9:30 时最大,9:30 以后随着蒸腾速率的持续上升,水分利用效率开始下降,9:30—11:30 期间表现为迅速下降,11:30—15:30 期间则下降较

为缓慢。15:30 时蒸腾速率达到最大,水分利用效率则达到最低值。之后随着净光合速率的增加和蒸腾速率的缓慢下降,水分利用效率再次升高,在 17:30 时达到一个相对高值。17:30 时后随着净光合速率的减弱而开始下降。以 17:30 时香梨叶片水分利用效率值为例,最大值 $2.99 \mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$,出现

在氮、磷、钾全施(NPK)的第5组处理中,最小值 $2.32 \mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$,出现在氮、磷、钾都不施($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$)的第1组处理中,说明施肥对香梨叶片的水分利用效率有一定程度的影响。不同施肥处理下,香梨叶片水分利用效率值表现为: $\text{NPK}(2.99\text{a}) > \text{N}_0\text{PK}(2.54\text{b}) > \text{NP}_0\text{K}(2.41\text{c}) > \text{NPK}_0(2.36\text{c}) > \text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0(2.32\text{c})$,香梨叶片水分利用效率的施肥效应表现为: $\text{K} > \text{P} > \text{N}$,与净光合速率的施肥效应表现相同。

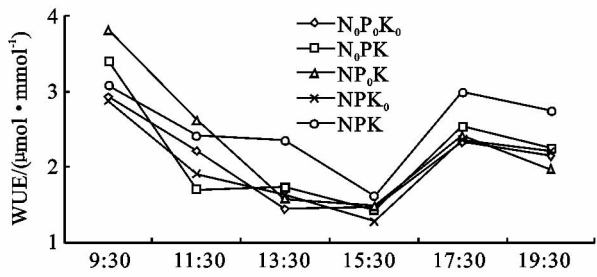


图6 不同施肥处理下的香梨叶片水分利用效率日变化

3 结论与讨论

随着环境条件的不断变化,果树光合速率在一天之间也发生很大变化。植物光合作用的日变化有正规曲线型、平坦型、变动型和中午降低型4种类型^[20]。本试验结果表明,在晴天条件下不同施肥处理的库尔勒香梨叶片净光合速率日变化均表现为双峰曲线,峰型较弱或不明显,具有光合“午休”现象。在净光合速率日变化过程中第一次峰值高于第二次峰值,与盛宝龙等^[21]的研究结果一致,而与张琦等^[22]的研究结果第一次峰值小于第二次峰值相反,具体原因还有待于进一步研究。气孔导度和气孔限制值的日变化与净光合速率日变化基本保持一致,呈双峰型,气孔导度峰型明显而气孔限制值峰型较弱。胞间 CO_2 浓度日变化与净光合速率相反,呈双谷型。蒸腾速率日变化曲线呈单峰型,水分利用效率日变化则呈单谷型。

施肥对香梨膨果期叶片的叶绿素含量、叶面积指数和光合特性都有显著影响。不同施肥处理下,香梨叶片的叶绿素含量和叶面积指数的施肥效应均表现为: $\text{N} > \text{P} > \text{K}$ 。香梨叶片的光合特性施肥效应各不相同,净光合速率与水分利用效率均表现为: $\text{K} > \text{P} > \text{N}$,而蒸腾速率表现为: $\text{P} > \text{N} > \text{K}$,气孔导度表现为: $\text{K} > \text{N} > \text{P}$ 。

参考文献:

[1] 姜小文,易干军,霍合强,等.毛叶枣光合特性研究[J].果树学报,2003,20(6):479-482.

[2] 郭俊荣,杨培华,谢斌银,等.银杏光合与蒸腾特性的研究[J].西北植物学报,1997,17(4):505-510.

[3] 周怀军,张洪武,张晓曼,等.不同砧木大石早生李光合特性[J].西北林学院学报,2003,9(1):18-21.

[4] 牛俊玲,解思敏.果园生草对果树光合特性影响的研究[J].山西农业大学学报,2000(4):353-356.

[5] 路丙社,白志英,董源,等.阿月浑子光合特性及其影响因子的研究[J].园艺学报,1999,26(4):289-290.

[6] 姜卫兵,高光林,戴美松,等.盐胁迫对不同砧穗组合梨幼树光合日变化的影响[J].园艺学报,2003,30(6):653-657.

[7] 郑淑霞,上官周平.8种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J].生态学报,2006,26(4):1080-1087.

[8] 王润元,杨兴国,赵鸿,等.半干旱雨养区小麦叶片光合生理生态特征及其对环境的响应[J].生态学杂志,2006,25(10):1161-1166.

[9] 王白坡,丁兴萃,戴文圣,等.田间条件下砂梨光合作用的研究[J].园艺学报,1987,14(2):97-102.

[10] 赵宗方,凌裕平,吴建华,等.梨树的光合特性[J].果树科学,1993,10(3):154-156.

[11] 王振磊.黄金梨和鸭梨光合特性的研究[D].河北保定:河北农业大学,2005.

[12] 莫新禄.不同砂梨品种的光合特性比较研究[D].长沙:中南林业科技大学,2006.

[13] 刘振蛟,曲柏宏,李玉梅,等.苹果梨的净光合速率变化规律[J].延边大学农业学报,2006,28(1):32-34.

[14] 梅立新.田间条件下几种梨树光合蒸腾比较[J].北方园艺,1991(1):11-13.

[15] 杨万鎰,邱淑艳,卢世昌.梨不同种和品种的光合速率比较研究[J].中国果树,1991(4):8-10.

[16] 谢深喜,罗先实,吴月嫦,等.梨树叶片光合特性研究[J].湖南农业大学学报,1996,22(2):134-138.

[17] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982,33:317-345.

[18] Nijs I, Ferris R, Blum H, et al. Stomatal regulation in a changing climate: a field study using free air temperature increase (FATI) and free air CO_2 enrichment (FACE)[J]. Plant, Cell and Environment, 1997, 20(8):1041-1050.

[19] 毛培利,曹帮华,宋绪忠,等.干旱胁迫下刺槐无性系光合生理适应性研究[J].浙江林业科技,2007,27(4):34-37.

[20] 樊慧敏,赵志军,程福厚,等.不同梨品种的光合特性研究[J].广东农业科学 2010(11):115-117.

[21] 盛宝龙,常有宏,姜卫兵,等.不同类型梨品种光合特性的比较[J].果树学报,2007,24(6):742-746.

[22] 张琦,张玉星,陈玉娟.库尔勒香梨光合特性的研究[J].河北农业大学学报,2006,29(6):29-32.