

# 氮磷钾肥配施对香梨膨果期光合特性的影响

柴仲平<sup>1</sup>, 王雪梅<sup>2</sup>, 陈波浪<sup>1</sup>, 蒋平安<sup>1</sup>, 盛建东<sup>1</sup>, 张亚洲<sup>1</sup>

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

**摘 要:**以 20 a 生库尔勒香梨为试材, 在田间条件下研究了不同氮、磷、钾施肥处理对库尔勒香梨膨果期光合特性日变化的影响。结果表明: 香梨叶片净光合速率日变化表现为典型的双峰曲线, 具有明显的光合“午休”现象。与不施肥处理相比, 施氮、磷、钾肥可促进香梨叶片净光合速率, 但过量时会带来不利影响。通过模型建立与分析, 肥料三要素对香梨叶片净光合速率的作用顺序为: 施钾量 > 施磷量 > 施氮量, 氮磷、氮钾之间具有协同效应, 磷钾之间具有拮抗效应。以香梨叶片净光合速率为目标, 推荐香梨膨果期氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)施肥量分别为 0.450~0.500、0.550~0.600、0.100~0.150 kg/株。

**关键词:**库尔勒香梨; 施肥配比; 膨果期; 光合特性

**中图分类号:**S 661.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)17-0171-04

果树干物质的 90% 以上来源于叶片的光合作用, 通过光合作用形成碳水化合物是产量形成的主要物质基础, 因此光合作用与果树优质丰产关系非常密切。在自然条件下, 果树叶片的净光合速率受到光合有效辐射、CO<sub>2</sub> 浓度、气温、相对湿度等多个环境因子的影响, 同时光、温、水、气等生态因子变化又可引起果树生理因子变化, 外在生态环境条件和内在生理因子共同影响果树光合作用特性<sup>[1-2]</sup>。在梨光合作用方面以研究个别品种的光合速率和光合日变化较多<sup>[3-6]</sup>, 已有研究认为, 梨不同品种在饱和光强下的净光合速率大小有差异<sup>[7]</sup>。梨不同品种的净光合速率也不同<sup>[8]</sup>, 晴天和阴天梨的净光合速率日变化曲线表现不一<sup>[5]</sup>, 不同季节梨净光合速率日变化曲线也有差异<sup>[3, 6]</sup>。在逆境条件下梨净光合速率日变化曲线会发生变化<sup>[9]</sup>。现通过田间调控肥料氮、磷、钾三要素, 分析比较不同氮、磷、钾施肥处理下库尔勒香梨在膨果期叶片净光合速率的变化特点, 旨在探讨库尔勒香梨对土壤养分氮素、磷素、钾素的响应程度以及对环境的适应过程和机制, 以期在生产上提高香梨光合效率, 进而为提高产量、改善果品提供理论依据。

**第一作者简介:**柴仲平(1974-), 男, 甘肃永昌人, 博士, 副教授, 研究方向为土壤质量及植物营养。E-mail: zhongpingchai@yahoo.com.cn.

**责任作者:**盛建东(1970-), 男, 甘肃秦安人, 博士, 教授, 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.

**基金项目:**新疆自治区“十二五”科技计划资助项目(201130102-2); 土壤学自治区重点学科资助项目。

**收稿日期:**2013-04-09

## 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(北纬 41°48'21", 东经 86°04'22"), 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, 年最大蒸发量为 2 788.2 mm。年总辐射 6 343 MJ/m<sup>2</sup>, 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。主导风向东北风, 土壤类型主要为粘壤土。

### 1.2 试验材料

供试树种为 20 a 树龄的库尔勒香梨(*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。

### 1.3 试验方法

试验设氮、磷、钾 3 个因素, 4 个水平, 14 个处理的“3414”田间试验, 施肥方案见表 1。依据香梨果树株行距的大小, 每处理选取 5~6 株树, 每个处理 3 次重复, 随机排列。肥料选用尿素(含 N 46%)、重过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)和硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 51%)。尿素施用量以每处理 60% 在果树萌芽前施用(N<sub>0</sub> 处理除外), 剩余 40% 在膨果前期追施。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, 其它田间管理与当地相同。

### 1.4 项目测定

于香梨膨果时期(2012 年 8 月 5 日, 晴天), 施肥后 120 d, 用 SPAD-502 型手持叶绿素仪测定叶片叶绿素

表 1 氮、磷、钾施肥方案

Table 1 The experiment scheme under different treatments of N,P,K

处理号(代码)	Treatment number (code)	养分用量 Quantity of applied nutrient					
		/kg · hm <sup>-2</sup>			/kg · 株 <sup>-1</sup>		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	300	60	0	0.667	0.133
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	150	300	60	0.333	0.667	0.133
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	300	0	60	0.667	0	0.133
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	300	150	60	0.667	0.333	0.133
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	300	300	60	0.667	0.667	0.133
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	300	450	60	0.667	1.000	0.133
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	300	300	0	0.667	0.667	0
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	300	300	30	0.667	0.667	0.067
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	300	300	90	0.667	0.667	0.200
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	450	300	60	1.000	0.667	0.133
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	150	150	60	0.333	0.333	0.133
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	150	300	30	0.333	0.667	0.067
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	300	150	30	0.667	0.333	0.067

含量;用 CIRAS-2 型光合仪测定光合特性指标,每处理选 1 株,选光照较好的新梢中上部健康叶 3 片,从早晨 9:30 开始测定至下午 19:30,每隔 2 h 测定 1 次。测定项目包括光合有效辐射(PAR,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),气温( $T_a$ ,  $^{\circ}\text{C}$ )、空气  $\text{CO}_2$  浓度

表 2

环境因子日变化

Table 2

The diurnal variations of environment factors

环境因子	9:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30
Environment factors						
光合有效辐射 PAR/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1 235.57d	1 427.86b	1 504.64ab	1 584.43a	1 300.72c	843.93e
大气温度 $T_a/^{\circ}\text{C}$	25.50e	29.10c	31.06b	32.55a	31.20b	26.20d
大气 $\text{CO}_2$ 浓度 $\text{Ca}/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	368.23a	335.20b	302.11d	314.59cd	322.70c	366.12a

注:不同小写字母表示差异显著  $P < 0.05$ 。下同。

Note: Different small letters mean significant difference at  $P < 0.05$ . The same below.

## 2.2 施氮对香梨叶片净光合速率(Pn) 日变化的影响

由图 1 可以看出,不同施氮水平处理下香梨叶片的净光合速率日变化均呈双峰曲线,第 1 次峰值均较第 2 次峰值高。在日变化过程中双峰出现时间一致,第 1 次峰值出现在下午 13:30 时,第 2 次峰值出现在下午 17:30 时。因施氮水平的不同峰值大小呈现出一定的差异,不

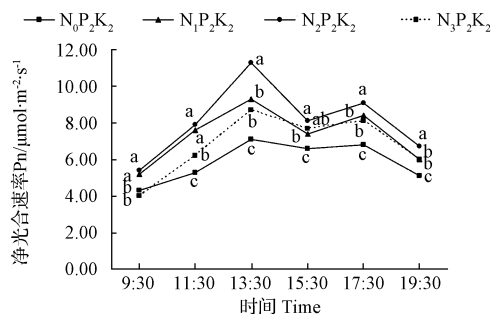


图 1 不同氮处理的香梨叶片净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal variations of Pn of *Pyrus bretschneideri* Rehder leaves under different treatments of N

( $\text{Ca}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) 等环境因子指标以及净光合速率( $\text{Pn}$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

## 1.5 数据分析

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、 $\text{CO}_2$  浓度、气温、相对湿度等多个环境因子的影响。由表 2 可以看出,在测定的外界环境因子指标中,光合有效辐射的变化幅度最大,由 9:30 开始( $1\,235.57 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )随时间变化逐渐升高,15:30 达到最大值( $1\,584.43 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),之后逐渐降低,19:30 时降到最低值( $843.93 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );气温由 9:30 时  $25.50^{\circ}\text{C}$  逐渐升高,至 15:30 时达到最高温度  $32.55^{\circ}\text{C}$ ,随后气温逐渐下降;大气  $\text{CO}_2$  浓度在 9:30 时值最大( $368.23 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ),由于果树叶片光合作用的消耗使大气中  $\text{CO}_2$  浓度下降,至 13:30 时达到最低值( $302.11 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ),随后开始上升。大气  $\text{CO}_2$  浓度整体变化幅度相对较小,平均值为  $334.83 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

同施氮水平下第 1 次峰值之间及第 2 次峰值之间均差异显著。第 1 次峰值和第 2 次峰值均表现为  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2 > \text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2 > \text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2 > \text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$ ,说明施氮能促进香梨叶片的净光合速率,但过量时则会带来不利影响。

### 2.3 施磷对香梨叶片净光合速率(Pn)日变化的影响

由图 2 可以看出,不同施磷水平处理下香梨叶片的

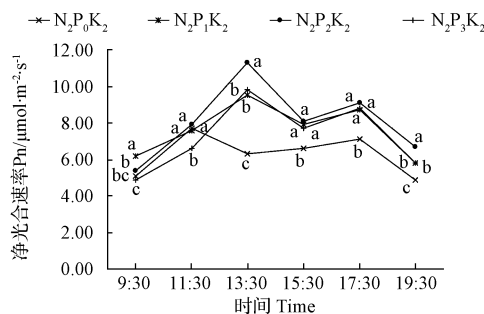


图 2 不同磷处理的香梨叶片净光合速率日变化

Fig. 2 Diurnal variations of Pn of *Pyrus bretschneideri* Rehder leaves under different treatments of P

净光合速率日变化均呈双峰曲线,第1次峰值均较第2次峰值高。因施磷水平的不同,在日变化过程中双峰出现时间和峰值大小均产生了一定差异。不施磷的处理( $N_0P_0K_0$ )与施磷处理相比净光合速率第1次峰值提前2 h出现,第2次峰值出现时间保持一致,在下午 17:30 时。不同施磷水平下第1次峰值之间差异显著,而第2次峰值之间差异不显著。第1次峰值和第2次峰值均表现为  $N_2P_2K_2 > N_2P_3K_2 > N_2P_1K_2 > N_2P_0K_2$ ,说明施磷能促进香梨叶片的净光合速率,过量时也会带来不利影响。

#### 2.4 施钾对香梨叶片净光合速率(Pn) 日变化的影响

由图 3 可以看出,不同施钾水平处理下香梨叶片的净光合速率日变化均呈双峰曲线,第1次峰值均较第2次峰值高。在日变化过程中双峰出现时间一致,第1次峰值出现在下午 13:30 时,第2次峰值出现在下午 17:30 时。因施钾水平的不同峰值大小呈现出一定的差异,不同施钾水平下第1次峰值之间及第2次峰值之间均差异显著。第1次峰值和第2次峰值均表现为  $N_2P_2K_2 > N_2P_2K_1 > N_2P_2K_3 > N_2P_2K_0$ ,说明施钾能促进香梨叶片的净光合速率,过量时也会带来不利影响。

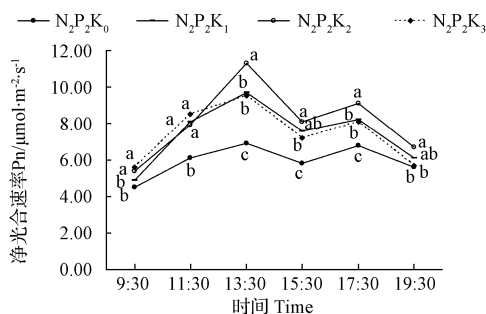


图 3 不同钾处理的香梨叶片净光合速率日变化

Fig. 3 Diurnal variations of Pn of *Pyrus bretschneideri* Rehd leaves under different treatments of K

#### 2.5 香梨叶片光合特性对肥料的响应

由表 3 可以看出,香梨叶片叶绿素含量和净光合速率峰值在不同施肥处理之间差异显著,叶绿素含量最大值(39.56)出现在氮、磷素都较为适中而钾素相对过量的  $N_2P_2K_3$  处理,最小值(35.27)出现在氮、磷、钾素都缺乏的  $N_0P_0K_0$  处理。说明土壤中增施氮、磷、钾肥可在一定程度上提高香梨叶片叶绿素含量。13:30 时净光合速率峰值在  $5.6 \sim 11.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间变化,最小值出现在氮、磷、钾素都缺乏的  $N_0P_0K_0$  处理,但最大值并没出现在施肥相对较多的处理,而出现在氮、磷、钾素都较为适中的  $N_2P_2K_2$  处理。说明施肥会影响香梨叶片的净光合速率,并在一定程度上促进光合速率,但并不是施的肥越多越好。

不同施氮、施磷、施钾水平下,香梨叶片净光合速率第1次峰值都较第2次峰值大,且差异显著,因此该研究将香梨叶片 13:30 时的净光合速率第1次峰值(Y) 与施

氮量( $X_1$ )、施磷量( $X_2$ )、施钾量( $X_3$ ) 进行二次多项式逐步回归分析,得关系式:

$$Y = 5.6513 - 0.1444X_1 + 0.3488X_2 + 1.9780X_3 - 0.0129X_1^2 - 0.0110X_2^2 - 0.2734X_3^2 + 0.0106X_1X_2 + 0.0651X_1X_3 - 0.0608X_2X_3.$$

( $R = 0.9849$ ,  $F = 14.3879$ , 显著水平  $P = 0.0104$ , 剩余标准差  $S = 0.5589$ , 调整后的相关系数  $R_a = 0.9501$ ); 通过模型分析得出以香梨叶片净光合速率为决策目标时,各个因素的最佳组合为:香梨叶片净光合速率(Y)  $11.01 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,施氮量( $X_1$ )  $0.476 \text{ kg/株}$ ,施磷量( $X_2$ )  $0.583 \text{ kg/株}$ ,施钾量( $X_3$ )  $0.112 \text{ kg/株}$ 。肥料三要素对香梨叶片净光合速率的作用顺序为:施钾量 > 施磷量 > 施氮量,说明在施肥效应方面钾肥效果较为明显。在施肥体系中氮磷、氮钾肥之间相互影响,互相促进,共同施肥的效应大于各自效应之和,具有协同效应。磷钾肥之间相互制约,相互抵消共同施肥的效应小于各自效应之和,具有拮抗效应。

表 3 不同氮、磷、钾施肥处理的香梨叶片光合特征值

Table 3 Photosynthetic characteristics of *Pyrus bretschneideri* Rehd leaves under different treatments of N,P,K

施肥处理 Fertilization treatments	叶绿素含量 Chl content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	净光合速率峰值 Peak of net photosynthetic rate $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
$N_0P_0K_0$	35.27e	5.6g
$N_0P_2K_2$	36.5de	7.1ef
$N_1P_2K_2$	36.85cde	9.3bc
$N_2P_0K_2$	37.82abcd	6.3fg
$N_2P_1K_2$	38.25abcd	9.5bc
$N_2P_2K_2$	39.2ab	11.3a
$N_2P_3K_2$	39.3ab	9.8b
$N_2P_2K_0$	36.58de	6.9ef
$N_2P_2K_1$	38.85abc	9.7b
$N_2P_2K_3$	39.56a	9.5bc
$N_3P_2K_2$	39.47ab	8.7cd
$N_1P_1K_2$	38.82abc	10.9a
$N_1P_2K_1$	37.35bcde	10.8a
$N_2P_1K_1$	38.62abcd	7.8de

### 3 讨论与结论

随着环境条件不断变化,果树光合速率在日间也发生很大变化。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<sup>[10]</sup>。该试验结果表明,在晴天条件下不同氮、磷、钾施肥处理的库尔勒香梨膨果期净光合速率日变化均表现为典型的双峰曲线,有明显的光合“午休”现象。在净光合速率日变化过程中第1次峰值高于第2次峰值,与盛宝龙等<sup>[11]</sup>研究结果一致,而与张琦等<sup>[12]</sup>研究结果第1次峰值小于第2次峰值相反,具体原因还有待于进一步研究。施肥对香梨叶片净光合速率的日进程产生了较大的影响,与不施肥的处理相比施氮、磷、钾肥可促进香梨叶片净光合速率,但

过量时会带来不利影响。针对果树施肥模型研究方面,大多数研究者都是以产量和品质作为依据建立数学模型进行分析,提出果树年生长周期中的施肥参数,为果树科学施肥,指导生产实践提供了重要的理论依据<sup>[13-15]</sup>。但是陈波浪等<sup>[16]</sup>、王泽等<sup>[17]</sup>研究表明,果树在年生长周期内不同生长阶段对不同肥料所需要的量是有差异的,而产量和品质都是在果树生长末期所测定的结果,以其建立数学模型分析所得到的施肥参数只能作为果树年生长周期内施肥总量的依据,无法对果树不同生长阶段进行施肥指导。光合作用是果树生长、结果的基础,净光合速率是果树叶片光合生产能力的主要参数。该研究借助光合作用在果树年生长周期内不同阶段的可测性,建立香梨膨果期净光合速率与施肥之间的数学模型,提出香梨膨果期的施肥参数,可为香梨膨果期施肥提供科学依据。

以香梨叶片 13:30 时的净光合速率峰值为目标建立模型,通过模型分析肥料三要素对香梨叶片净光合速率的作用顺序为:施钾量>施磷量>施氮量,氮磷、氮钾之间具有协同效应,磷钾之间具有拮抗效应。以香梨叶片净光合速率为目标,推荐香梨膨果期氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)施肥量分别为 0.450~0.500、0.550~0.600、0.100~0.150 kg/株。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 王振磊. 黄金梨和鸭梨光合特性的研究[D]. 保定:河北农业大学,2005.
- [6] 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.
- [7] 杨万镒,邱淑艳,户世昌. 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 孙霞,柴仲平,蒋平安. 氮磷钾配比对新疆“红富士”苹果产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(6):130-134.
- [14] 柴仲平,王雪梅,孙霞,等. 基于灰枣产量和品质的水氮耦合效应研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):263-266.
- [15] 柴仲平,王雪梅,孙霞,等. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量与品质的影响[J]. 果树学报,2011,28(2):229-233.
- [16] 陈波浪,盛建东,李建贵,等. 红枣树氮、磷、钾吸收与累积年周期变化规律[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):445-450.
- [17] 王泽,盛建东,陈波浪,等. 矮密栽培红枣树生物量及养分积累动态研究[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(1):169-175.

## Influence of Different Treatments of N,P,K on Photosynthetic Characteristics of Fruit Enlargement Stage of Korla Fragrant Pear

CHAI Zhong-ping<sup>1</sup>, WANG Xue-mei<sup>2</sup>, CHEN Bo-lang<sup>1</sup>, JIANG Ping-an<sup>1</sup>, SHENG Jian-dong<sup>1</sup>, ZHANG Ya-zhou<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Taking 20-year-old Korla fragrant pear as material, the effect of different treatments of N, P, K on photosynthetic characteristics of fruit enlargement stage of it was studied in field condition. The results showed that the diurnal variation curves of Pn of Korla fragrant pear presented double-apex curves, and had a phenomenon of photosynthetic ‘noon breaking’. It could promote the net photosynthetic rate of leaves to apply fertilizer N, P and K, but the fertilizer excess were all not benefit. Through the establishment and analysis of model, the role of fertilizer N, P and K to Pn of Korla fragrant pear leaves was in order of K>P>N. The interaction effect of P and N, K and N were coordination, but K and P were antagonistic effect. Taking the Pn as optimal composite scheme, the quantity of N, P, K for individual tree was 0.450~0.500 kg, 0.550~0.600 kg, and 0.100~0.150 kg respectively.

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