

枸杞生理与气象

枸杞的生理特性与外环境气象因子的 日变化规律研究

刘 静 王连喜 马力文 李凤霞 张晓煜 苏占胜 周慧琴 李剑萍

(宁夏气象防灾减灾重点实验室 银川 750002)

摘要 采用英国 PPS 国际有限公司生产的 CIRAS—1 型光合作用综合测定仪同时测定了 3 年生枸杞和灌溉春小麦蒸腾速率、净光合速率、气孔导度等植物生理因子的逐时变化,并同时测定了总辐射、照度、光合有效辐射、叶温、气温、湿度和田间微风。通过枸杞诸因子的日变化和同期春小麦的比较,我们研究了枸杞叶片光合作用、蒸腾作用、气孔导度和环境光、温、水、气和风的变化。结果表明 枸杞净光合速率大于春小麦 比小麦更喜光,存在光合午休现象;叶片蒸腾速率全天略高于春小麦。光合午休时段蒸腾速率没有继续加大,维持在相对较高但较平稳的水平上。枸杞气孔导度较低。辐射、气温是影响光合午休的主要因子。相对湿度下层大于上层,风速分布规律则相反。枸杞田间没有明显的 CO_2 吸收低谷。

关键词: 枸杞 植物生理因子 微气象因子 日变化规律

An experimental study for daily changes of environment factors and physiological parameter of *Lycium barbarum* L.

Liu Jing Wang Lianxi Ma Liwen Li Fengxia Zhang Xiaoyu

Su Zhansheng Zhou Huiqin Li Jianping

(Ningxia key laboratory for meteorological disaster prevention and reduction, Yinchuan, 750002)

Abstract: Using CIRAS-1 photosynthesis measure system made in PPS International Ltd. of England, we measured the hour-to-hour change of transpiration rate, net photosynthesis rate, stoma resistance and so on for *Lycium barbarum* L. and spring wheat. We also tested illumination, effective radiation of photosynthesis, leaf and air temperature, humidity, breeze in the field in the same times. Compare with difference of every factor of spring wheat, we studied the leaf net photosynthesis rate, transpiration rate, conductivity of stoma, solar radiation, leaf and air temperature, humidity, concentration of CO_2 , wind speed etc of *Lycium barbarum* L. The result showed that leaf PNR of *Lycium barbarum* L. is higher than spring wheat. PNR is dropped at noon. Leaf transpiration rate is a bit higher than spring wheat in whole day. And it keeps in a high and steady level relatively, but not increase when PNR is dropped at noon. Stoma conductivity is lower than spring wheat. Radiation and air temperature is main factor that affect PNR dropped at noon. The relative humidity in lower level is higher than upper; however, the law of wind speed is on the contrary. There is not valley of CO_2 absorbed on the field of *Lycium barbarum* L.

第一作者简介 刘静 男, 1964 年生 回族 籍贯北京市 应用气象高级工程师 现从事农业气候资源、农业气象、遥感应用等方面的研究。

Key words: *Lycium barbarum* L. Physiological factor Micrometeorological phenomena Hour-to-hour change

宁夏枸杞 (*Lycium barbarum* L.) 是茄科枸杞属多年生落叶灌木, 在植物分类中是一个独立的分种, 自古就是知名的药用植物, 果实是名贵的中药材和保健品^[1]。长期以来, 宁夏枸杞的研究集中在植物形态、栽培、育种、病虫害和药用成分、药理作用、临床应用、产品开发等方面, 集中反映在《宁夏枸杞研究》^[2]文集中。在枸杞气象条件研究方面, 20 世纪 80 年代初周仲显根据中宁枸杞产量与气象资料做过初步分析, 得到了经验区划^[3]。作为枸杞植物学基础研究部分, 没有检索到枸杞光合、蒸腾等方面的研究, 也没有枸杞产量、品质形成与枸杞生理、生态、环境因子的关系研究, 而这些是进一步开展其它研究工作的基础。为此, 本文从枸杞光合作用、蒸腾作用等基础观测入手, 通过与人们熟悉的春小麦的同期对比观测, 研究了枸杞叶片光合作用、蒸腾作用、气孔导度与外界光、温、水、气的变化规律。

1. 材料和方法

试验设在宁夏惠农县, 属引黄灌区低洼盐碱地, 平均地下水位 0.9m, 0~50cm 平均 pH 值为 8.4, 土壤全盐为 $1.12\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有机质含量为 $13.6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 经土壤养分测定, 土壤全氮 $0.69\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 其中水解氮 $85.9\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 全磷 $0.71\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 全钾 $19.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 其中速效磷、速效钾含量分别为 $35.6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $143.5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。枸杞田为 0.13hm^2 品种为宁杞 1 号 春小麦试验田为 0.27hm^2 品种为永良 4 号。观测期间枸杞为夏果成熟期, 春小麦处于灌浆始期, 灌溉后第 3 天 灌溉量为 $900\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

采用英国 PPS 国际有限公司生产的 CIRAS—1 型便携式光合作用测定系统, 2001 年 6 月 22 日测定了 3 年生枸杞试验田与毗邻的正常灌溉春小麦试验田间光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光合有效辐射、细胞间隙和环境 CO_2 浓度的逐时变化和同时刻不同高度温度、湿度、辐射、风速。每次选择树体中部生长正常且无病虫害危害的活体叶片进行定叶测量, 每个时次分别进行 4 次重复, 以平均值作为该时次的测量结果。

2. 结果分析

2.1 枸杞植物生理因子的日变化规律

2.1.1 枸杞光合速率

图 1 是枸杞光合速率日变化及其春小麦同时次对比观测结果。枸杞任何时次光合速率均大于春小麦, 中午差异比早晚大, 表明气温越高, 辐射越强, 光合速率差异越大, 即枸杞比小麦更喜光。二者日变化有很大区别, 春小麦为单峰型, 最大光合速率出现在 11:00 前后, 下午光合速率下降, 光合午休明显, 且下午没有恢复。而枸杞为双峰型, 11:00 左右光合速率维持在较高水平上, 13:00 左右光合速率出现低谷, 证明枸杞也存在光合午休现象; 第 2 个峰值出现在 15:00 左右。光合午休是植物较普遍的现象, 除小麦外, 大豆、油菜、花生、甜菜等也都存在光合午休现象^[4~7]。从 13:00~16:00 气温和叶温均维持在高值上来看, 枸杞光合午休与辐射有关。值得注意的是, 华北地区小麦和其它作物最大光合速率一般出现在 10:00, 12:00 出现光合午休^[8], 宁夏观测的枸杞、小麦最大光合速率和光合午休均比华北滞后 40min~1h, 而宁夏处于

105°E附近 地方时与北京时(华北,120E°)有40min~1h 的时差,说明植物光合与辐射强度的直接关系,也说明许多植物光合作用在生理上有一定的共性。

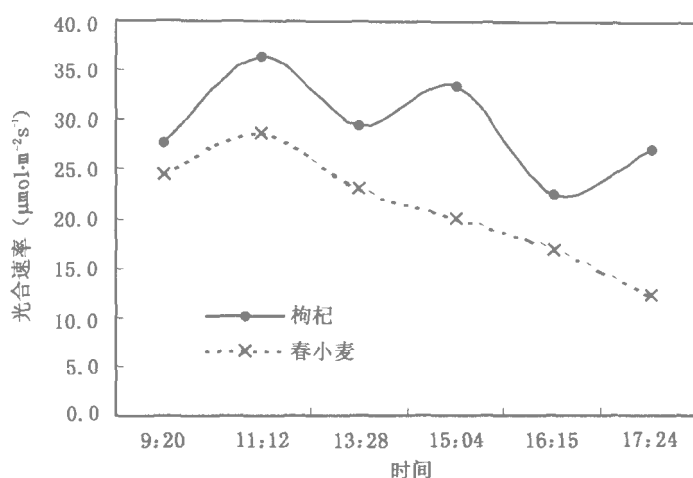


图 1 枸杞光合速率日变化

枸杞光合午休的机理 国内外有许多观点 韩鹰等^[9]认为 Rubisco 酶的初始活性和气孔导度下降可能是造成中午光合速率下降的原因, 邓仲篪^[10]指出, 水稻光合午休是环境条件与内生节奏相互作用的结果, 即长期适应环境的结果。Cumming 等^[11]认为光合、呼吸和水分传输都有自身的内在规律。这些研究都从不同侧面反映光合午休的原因。从影响光合速率的外部环境因素和内部因素综合来看, 本研究认为枸杞是旱生植物, 长期自然驯化使其在水分控制上有自身的特点。高温下, 午后强辐射造成蒸腾失水加剧和叶温的升高, 刺激了气孔, 气孔导度降低 避免了过量失水 但同时使 CO₂ 吸收量减少和体内营养物质的传输减慢, 导致光合速率降低。另外 午后强光、高温的条件提高了叶片光呼吸消耗 使净光合速率下降。

2.1.2 枸杞蒸腾速率

图 2 是枸杞蒸腾速率日变化。枸杞叶片蒸腾速率的日变化呈双峰型, 但下降不明显, 春小

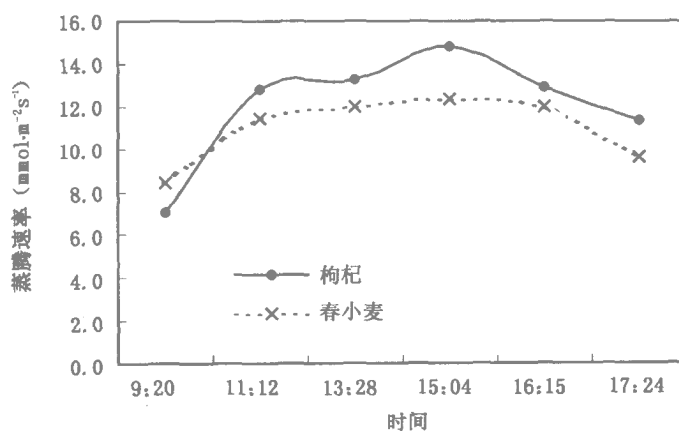


图 2 枸杞蒸腾速率日变化

麦呈单峰型。上午随着气温升高,二者蒸腾速率均很快增大,但气温继续升高,二者均出现光合午休。叶片气孔开张度减小,气孔阻力加大,蒸腾速率维持在相对较高但较平稳的水平上。枸杞15:00左右蒸腾速率再度上升,达到全天的最高值,下午随着气温下降,蒸腾速率也相应降低。枸杞是耐旱作物,但叶片蒸腾速率全天略高于春小麦,是以前从未有认识到的现象,冯显达等^[12]观察到枸杞气孔较大,约 $413\mu\text{m}^2$,叶面两侧均有分布,密度达 $136\text{个}\cdot\text{mm}^{-2}$ 。虽然枸杞气孔导度远低于春小麦(见图3),但叶片蒸腾速率比小麦高。小麦自11:00开始,逐渐进入光合午休状态,气孔开张度变小,此后一直没有恢复,也是叶片蒸腾速率低于枸杞的主要原因。

2.1.3 枸杞气孔导度

图3是枸杞气孔导度日变化,反映了气孔阻力。枸杞气孔导度普遍较低,仅是春小麦的1/3,反映出枸杞的耐旱性。从日变化来看,枸杞呈双峰型,与光合速率曲线相位相同,但最高值出现在15:00。此时光合速率出现次大值;13:00左右,枸杞光合午休时段,气孔导度出现低谷;16:00以后,随着辐射降低,气孔导度降低。春小麦与枸杞不同,11:00出现高峰后,随着光合午休的出现,气孔导度迅速下降;16:00以后,气孔导度又回升,但因辐射减弱,光合速率和蒸腾速率并没有回升。

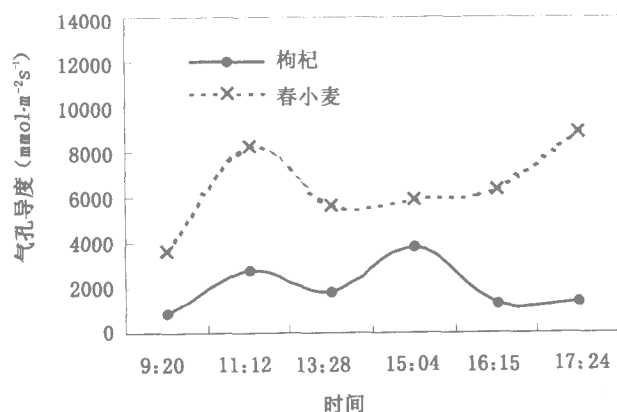


图3 枸杞气孔导度日变化

枸杞叶片有发达的角质膜,有栅栏组织,无海绵组织,起良好的保水作用。维管束发达,保证了深层水分传输^[12],气孔大,分布密集,光合速率高,气孔导度小,蒸腾速率低,是枸杞适合干旱地区生长的生理基础。

2.2 枸杞外界环境因子的日变化特征

2.2.1 辐射

2.2.1.1 照度

照度日变化反映了总辐射的大小。图4是枸杞田2.0m高度处的照度日变化,呈抛物线型,13:00前后达到最大,与测定的总辐射变化相同(图略)。对比图1,可得出枸杞的光饱和点为80klux。

2.2.1.2 光合有效辐射

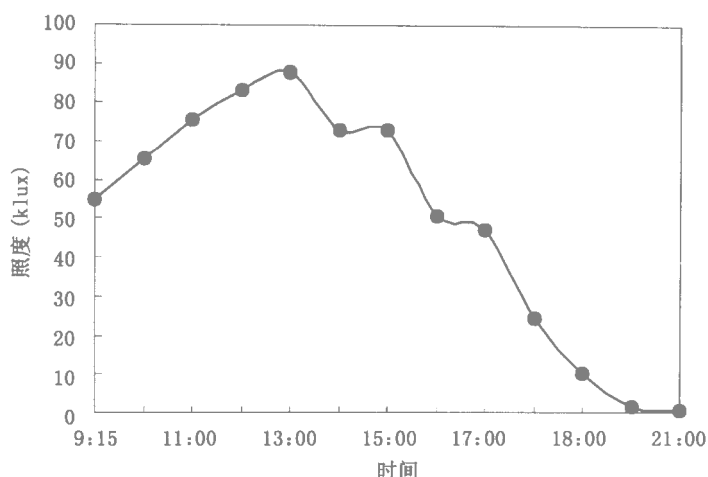


图 4 枸杞田照度日变化

图 5 是枸杞光合有效辐射日变化曲线，小麦与枸杞的光合有效辐射日变化差异不大。小麦光合有效辐射与光合速率变化相似，枸杞有一定差异，但存在线性相关关系，相关系数达 0.91。枸杞的光合有效辐射最大值出现在 11:00 前后 比总辐射最大值提前 2 小时左右 在水分充分满足情况下，光合有效辐射、温度和气孔导度决定了光合速率的大小。

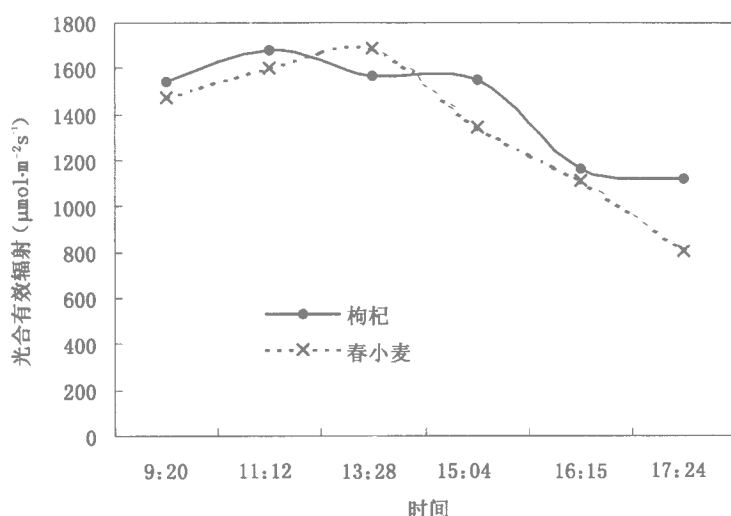


图 5 枸杞光合有效辐射日变化

2.2.2 温度

2.2.2.1 气温

气温既影响光合速率，又制约着蒸腾速率和气孔阻力。图 6a 是枸杞与小麦田气温和叶片生理测定处空气温度日变化，表明叶片周围的环境温度普遍比气温高，枸杞平均高出 2℃ 小麦平均高出 3~4℃；从枸杞与小麦气温差异来看，同样天气条件下，枸杞田气温比小麦田高出 2 左右，是由于小麦是密植作物，田间蒸散量比稀植的枸杞大，近地层热量散失快；与图 3 联系起来，可得出当枸杞叶片周围环境空气温度超过 30℃ 相应的气温超过 27℃，枸杞气孔开始

关闭，气孔导度迅速下降，抑制了蒸腾速率的继续增大，引起光合速率下降，是枸杞光合和蒸腾受抑制的温度临界指标。

图 6b 是枸杞行间 50cm、100cm 和 150cm 处空气温度日变化表现出 3 个特点：一是枸杞田下部温度低于上部，白天与辐射削弱有关，夜间与行间裸露地表干燥、空旷，长波辐射强，土壤热容量小有关；二是温度垂直差异白天小，夜间大，白天差异一般在 1~2℃ 内，夜晚可达 2~4℃；三是枸杞叶片集中的冠层上部（100cm 处）温度与气温的差异始终较小，而与下层温度的差异较大。

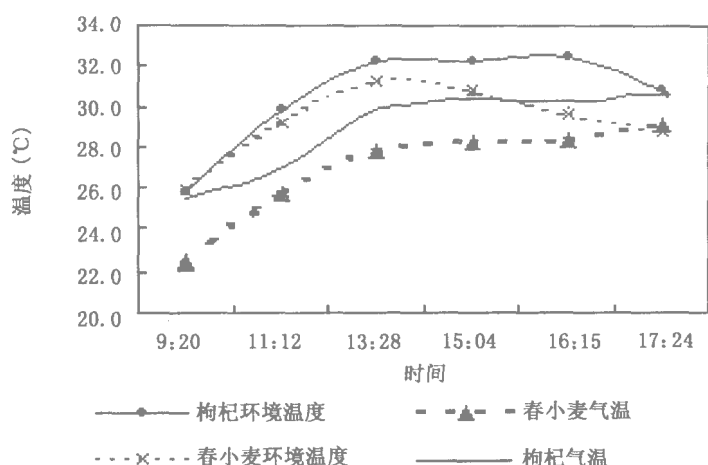


图 6a 枸杞温度日变化

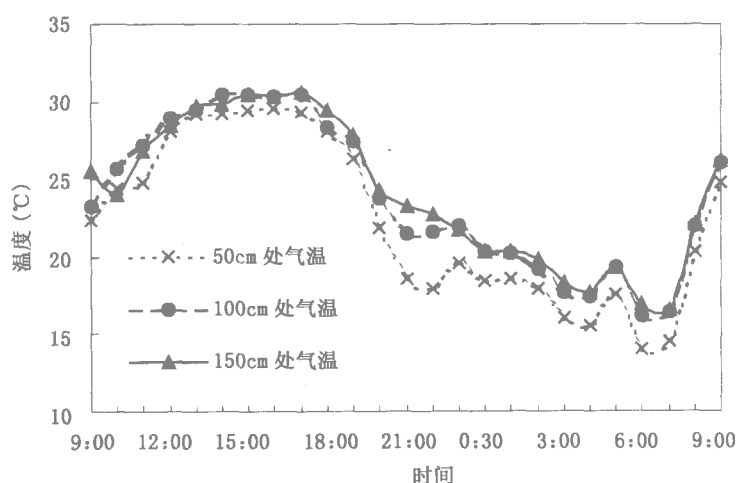


图 6b 枸杞不同高度温度日变化

2.2.2.2 叶温

从白天枸杞叶温变化图上可以看出（见图 7），其曲线形式与叶片周围环境温度类似，但均低于环境温度和气温，枸杞叶温一般比气温低 0.5~1.0℃ 小麦一般低 1~2℃ 系叶片蒸腾所至。枸杞叶温在 13:00 以前虽然比小麦略高，但同比升高，13:00~16:00 枸杞叶温均维持在较高值，而小麦则下降，与小麦叶面积指数高，蒸腾强度大有关，小麦田间气温也有类似变化

趋势。

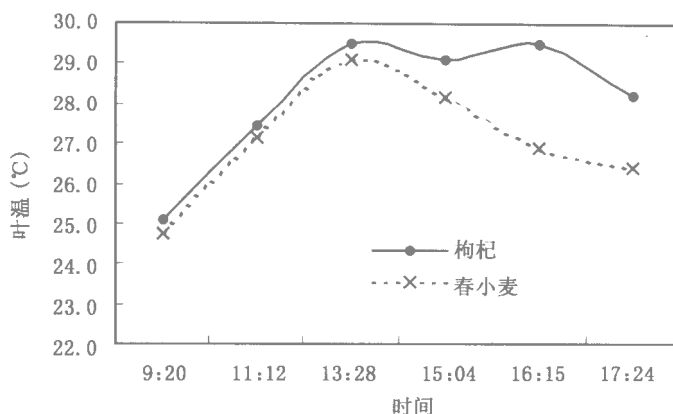


图 7 枸杞叶温日变化

2.2.3 湿度

2.2.3.1 枸杞田间环境绝对湿度和相对湿度

图 8a 和 8b 分别是枸杞田间不同高度水汽压和相对湿度日变化。图 8a 中 白天水汽压呈降低趋势，傍晚升高，夜里又降低，上午又再度升高，表现为早晚高，午后和深夜低的变化。表现为枸杞上层水汽压大于中下层，低层又高于叶片集中的中层的现象。而图 8b 中 表现出白天相对湿度较低，夜晚高的正常分布状况，白天上下层相对湿度差异较小，夜晚差异很大，越接近地表 相对湿度越大 傍晚凌晨可达到 90% 以上。6 月底是夏果成熟期，下层过大的相对湿度是造成下部发生炭疽病的环境因素，是下部常常发生黑果、烂果的原因。

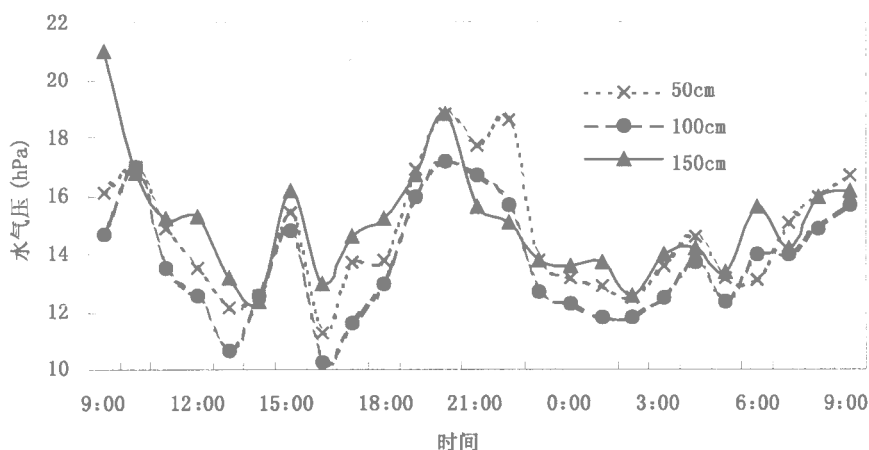


图 8a 枸杞水汽压日变化

2.2.3.2 饱和水汽压差

水汽压差是指细胞内外水汽之间的蒸汽压差，它制约着蒸腾速度。蒸腾速率与水汽压差存在如下关系：

$$E = \frac{C_l - C_a}{R_s + R_e} \quad (1)$$

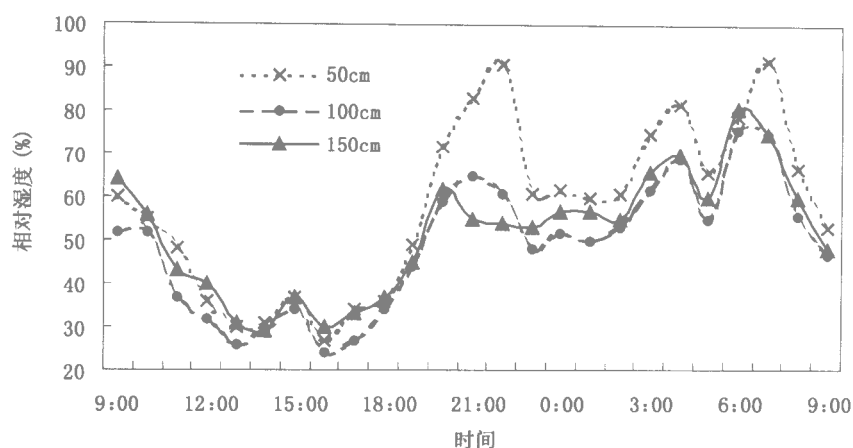


图 8b 枸杞不同高度相对湿度日变化

式中, E 为叶片蒸腾速率, Cl 是叶片气孔下腔的水汽压, Ca 是叶片外空气的水汽压, R_s 是气孔阻力, 受气孔开张度的影响, Re 是叶片外水汽扩散阻力。由于蒸腾速率与水汽压差存在线性关系, 二者的日变化非常相似, 只是量纲不同 (见图 9)。晴空下, 随着太阳辐射和气温的升高, 气孔渐渐张大, 叶温上升, 空气水汽压和相对湿度下降, 叶内外蒸汽压差变大, 蒸腾渐快。水汽压差在 11:00 ~ 16:00 达到相对高值。随后, 气温下降, 空气相对湿度升高, 水汽压差也下降。

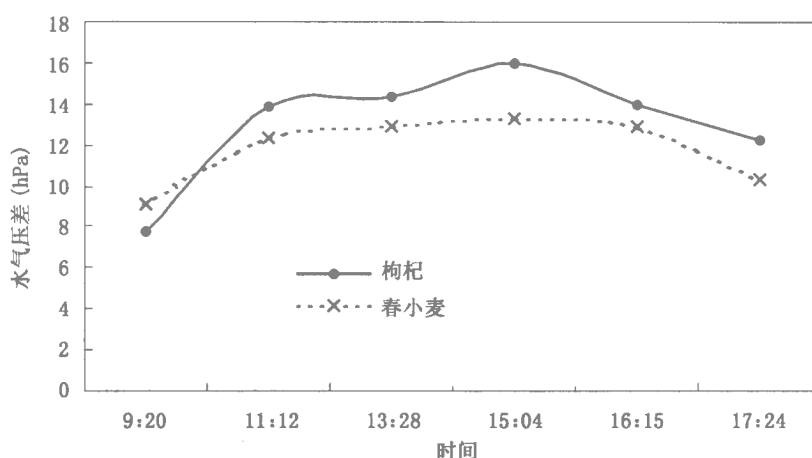


图 9 枸杞叶片内外水汽压差日变化

2.2.4 田间 CO_2 浓度

枸杞是稀植灌木, 通风良好。晴空微风条件下, 田间 (100cm 处) CO_2 浓度日变化接近于近地层自由大气, 没有明显的吸收低谷, 而小麦田则在 13:00 ~ 14:00 有明显的吸收低谷, 且全天 CO_2 浓度低于枸杞 (见图 10)。

叶片 CO_2 浓度差决定着光合速率的大小, 浓度差与光合速率正相关, 因此二者图形相似, 位相相反 (见图 11 和图 1)。枸杞叶片 CO_2 浓度差大于小麦, 因此光合速率高于后者。气孔导度降低, 则叶片 CO_2 浓度差减小。

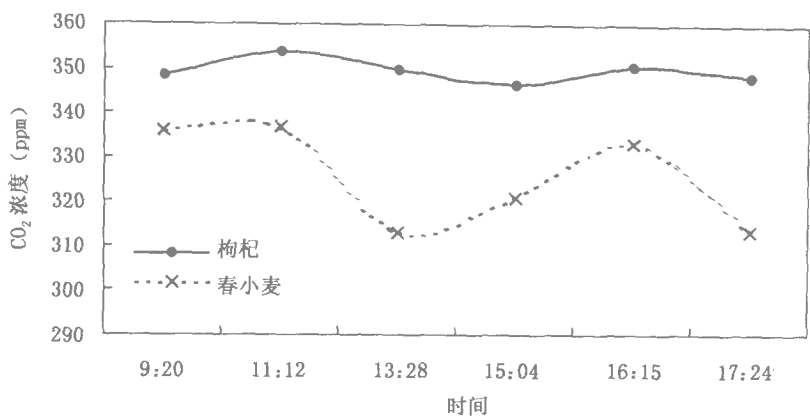


图 10 枸杞田间 CO₂ 浓度变化

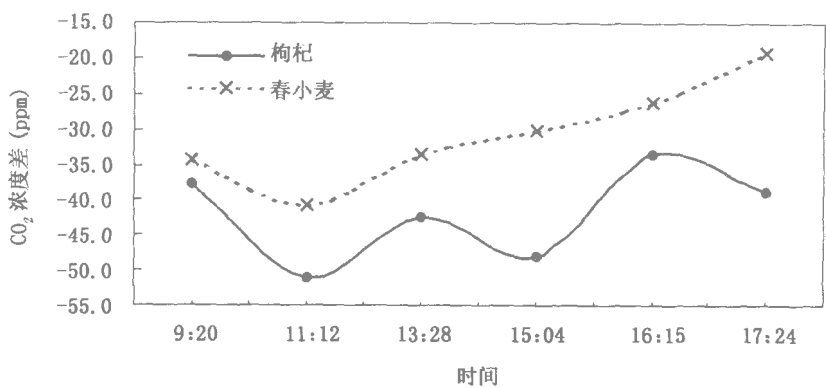


图 11 枸杞叶片细胞内外 CO₂ 浓度差日变化

2.2.5 田间风速

枸杞田间风速波动情况(见图 12)。从日变化来看 白天风速相对较大 傍晚和早晨静风，夜间有风速波动；比较不同高度风速，有随高度增加，风速加大的正常分布特征。由于枸杞高度为 1.2m,1.5m 和 2.0m 处的风速均是冠层上方的风速，差异不大。

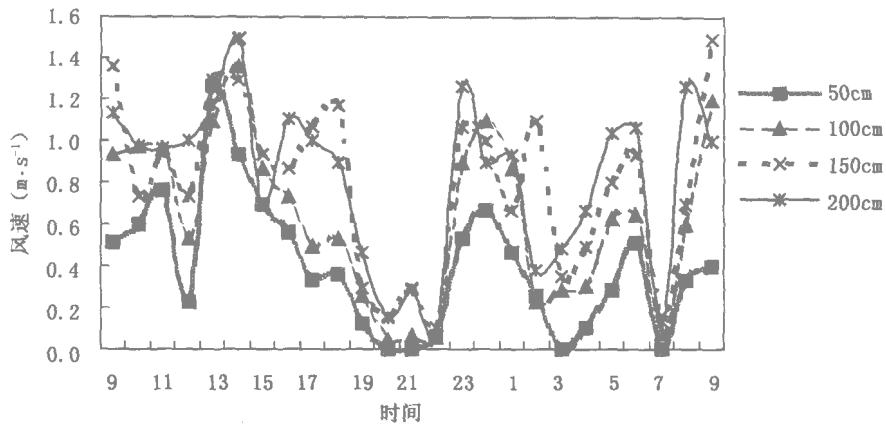


图 12 枸杞田间不同高度微风日变化

3. 结论和讨论

本文通过枸杞光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光合有效辐射、水气压差和气温、叶温、空气绝对湿度、相对湿度、环境 CO_2 浓度、田间微风等环境因子的同期加密观测资料,较系统地研究了各因子的日变化及其它它们之间的相互关系和不同高度环境因子的变化特征。通过枸杞与人们熟悉的春小麦各要素的同期对比结果,直观地反映了枸杞的各项因子特征和变化特点。

(1) 枸杞净光合速率大于春小麦,比小麦更喜光。枸杞的光合速率日变化呈双峰型,13:00左右光合速率出现低谷,存在光合午休现象。枸杞光合午休的机理,可理解为枸杞是旱生植物,长期的自然驯化使其对水分控制上有自身的特点。高温下,午后强辐射使叶片蒸腾失水加剧,叶温升高,刺激了气孔,气孔导度降低,避免了过量失水,但同时使 CO_2 吸收量减少和体内营养物质的传输减慢,导致光合速率降低。午后叶片光呼吸消耗加大,使净光合速率下降。

(2) 枸杞蒸腾速率的日变化呈单峰曲线,上午随着气温的升高,蒸腾速率很快增大,但气温继续升高,出现光合午休,气孔阻力加大,蒸腾速率没有继续加大,而是维持在相对较高但较平稳的水平上,15:00左右蒸腾速率再度上升,达到全天的最高值,下午随着气温下降,蒸腾速率也相应降低。枸杞是耐旱作物,但叶片蒸腾速率全天略高于春小麦。

(3) 枸杞气孔导度普遍较低,仅是春小麦的 $1/3$,反映出枸杞的耐旱性。日变化呈双峰型,与光合速率曲线相位相同,枸杞光合午休时段,气孔导度出现低谷。枸杞叶片有发达的角质膜和栅栏组织,无海绵组织,起良好的保水作用,气孔大,分布密集,光合速率高,气孔导度小,蒸腾速率低,是枸杞适合干旱地区生长的生理基础。

(4) 枸杞的辐射因子中,总辐射最大时出现光合午休。枸杞与小麦的光合有效辐射差异不大,与光合速率相似存在线性相关关系,光合有效辐射虽然与辐射有直接关系,但还受其它因子的影响。在水分充分满足情况下,光合有效辐射决定了光合速率的大小。

(5) 枸杞气温既影响光合速率,又制约着蒸腾速率和气孔阻力。枸杞叶片周围的环境温度普遍比气温高出 2°C ,当枸杞叶片周围环境温度超过 30°C ,气温超过 27°C ,枸杞气孔开始关闭,气孔导度迅速下降,抑制了蒸腾速率的继续增大,引起光合速率下降,是枸杞光合和蒸腾受抑制的温度临界指标。

枸杞下部温度低于上部,温度垂直差异白天小,夜间大,白天差异一般在 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 内,夜晚可达 $2\sim 4^\circ\text{C}$;枸杞冠层温度与气温的差异始终较小,而与下层温度的差异较大。枸杞叶温均低于叶片周围环境温度和气温,一般比气温低 $0.5\sim 1.0^\circ\text{C}$ 。

(6) 枸杞田间白天水汽压早晚高,午后和深夜低。上层水汽压大于中下层,低层又高于叶片集中的中层。白天相对湿度较低,夜晚高,上下层相对湿度差异白天较小,夜晚很大,越接近地表,相对湿度越大,下层过大的相对湿度是造成下部常常发生黑果、烂果的原因。

(7) 枸杞是稀植灌木, CO_2 浓度日变化接近于近地层大气,没有明显的吸收低谷,枸杞叶片 CO_2 浓度差大于小麦,气孔导度降低,则叶片 CO_2 浓度差减小。

参 考 文 献

- [1] 路安民. 中国枸杞属的分类研究. 宁夏枸杞研究. 银川:宁夏人民出版社,1999.3~10
- [2] 白寿宁. 宁夏枸杞研究. 银川:宁夏人民出版社,1999
- [3] 董永祥,周仲显. 宁夏枸杞气候区划. 宁夏气候与农业. 银川:宁夏人民出版社,1986.121~129
- [4] 傅金民. 夏大豆群体光合特性研究. 大豆科学,1994,13(1):16~21

- [5] 胡会庆 刘安国 王维金 . 油菜光合速率日变化的初步研究 . 华中农业大学学报 ,1998,17(5):430 ~ 434
- [6] 傅金民 苏芳 张庚灵 . 花生群体光合速率发展动态和日变化 . 中国油料 ,1995,17(3):17 ~ 21
- [7] 白祥和 吴存祥 曲文章等 . 甜菜群体光合速率日变化与生理生态因子关系的研究 . 中国甜菜糖业 ,1995, 1:18 ~ 20
- [8] 王焘 郑国生 邹琦 . 干旱与正常供水条件下小麦光合午休及其机理的研究 . 华北农学报 ,1997,12(4): 48 ~ 51
- [9] 韩鹰 陈刚 李克武等 . 外部因素对小麦旗叶光合速率和 Rubisco 活性的影响 . 江苏农业研究 ,1999,20 (3):27 ~ 32
- [10] 邓仲簪 . 水稻光合日变化与内生节奏的关系 . 中国水稻科学 ,1994,8(1):9 ~ 14
- [11] Cumming B G, E Wegner. Rhythmic processes in plants. *Ann Rev Plant Physiol* . 1968, 19:381 ~ 408
- [12] 冯显逵 宋玉霞 . 宁夏枸杞形态解剖特征的观察, 宁夏枸杞研究 . 银川:宁夏人民出版社 ,1999.29 ~ 30

枸杞叶片净光合速率与其它生理参数 及环境微气象因子的关系^{*}

刘 静 王连喜 戴小笠 苏占胜 李凤霞

(宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川, 750002)

摘要 采用英国 PPS 国际有限公司生产的 CIRAS—1 型光合作用综合测定仪同时测定了 3 年生枸杞和灌溉春小麦孕穗期净光合速率、蒸腾速率、气孔阻力等植物生理因子的逐时变化, 并同时测定了照度、光合有效辐射、叶温、气温、湿度和田间微风。通过枸杞诸因子与外界环境气象因子的模拟, 研究了枸杞叶片净光合速率与蒸腾速率、气孔导度、太阳辐射及外界光、温、水、气和风的关系, 结果表明, 枸杞净光合速率除受蒸腾速率、气孔导度等因子的影响外, 与辐射、温度等环境因素和气象因素的关系非常密切, 可以用某些环境气象因子推测植物生理因子的变化。

关键词: 枸杞 净光合速率 微气象因子 关系

Relationship between leaf net photosynthesis rate of *Lycium barbarum* L. and its environmental micrometeorological factors

Liu Jing Wang Lanxi Dai Xiaoli Su Zhansheng Li Fengxia

(Ningxia key laboratory for meteorological disaster prevention and reduction, Yinchuan, 750002)

Abstract: Using CIRAS-1 photosynthesis measure system made in PPS International Ltd. of England, we measured the hour-to-hour change of transpiration rate, net photosynthesis rate, stoma resistance and so on for *Lycium barbarum* L. and spring wheat. We also tested illumination, effective radiation of photosynthesis, leaf and air temperature, humidity, breeze in the field in the same times. By modeling all phenomena factors with meteorological factors, we studied the leaf net photosynthesis rate with the, transpiration rate, conductivity of stoma, solar radiation, leaf and air temperature, humidity, concentration of CO₂, wind speed of *Lycium barbarum* L. etc. The result showed that there are many relationship among effective radiation of photosynthesis, leaf temperature, difference of aqueous vapor pressure, stoma resistance and transpiration rate etc. This study will give a new view in characteristic of physiological and environment factors of *Lycium barbarum* L.

Key words: *Lycium barbarum* L. PNR micrometeorological factors Relationship

宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 是我国知名的药用植物、名贵的中药材和保健品, 属茄科枸杞属多年生落叶灌木。枸杞研究主要集中在植物形态、栽培、育种、病虫害和药用成分、药理作用、临床应用、产品开发等领域^[1]。枸杞的气象条件研究方面, 国内外做的工作很少, 仅有周仲显等的枸杞经验气候区划^[2]。枸杞产量、品质形成与枸杞生理、生态、环境因子的关系很密切, 为了开展气象条件与枸杞产量与品质的关系研究, 必须摸清气象条件与枸杞光合、蒸腾及气孔导度等影响干物质形成的植物生理因子间的关系。为此, 本文从枸杞光合、蒸腾与气孔导度等因子与同时刻环境气象因子的基础观测入手, 研究了枸杞叶片净光合速率与外界光、温、水、气的关系。

^{*} 第一作者简介: 刘静, 男, 1964 年生, 回族, 籍贯北京市, 应用气象高级工程师, 现从事农业气候资源、农业气象、遥感应用等方面的研究。

1. 试验材料与方法

试验设在宁夏引黄灌区北部的惠农县黄渠拐子乡,品种为宁杞 1 号 观测时间为 2001 年 6 月 22 ~ 23 日,正值枸杞夏果成熟期。枸杞试验田 0.13hm^2 ,属低洼盐碱地,平均地下水位为 0.9m , $0\sim 50\text{cm}$ 平均 pH 值为 8.4 土壤全盐为 $1.12\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有机质含量为 $13.6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土壤全氮 $0.69\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 其中水解氮 $85.9\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 全磷 $0.71\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 全钾 $19.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 其中速效磷、速效钾含量分别为 $35.6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $143.5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

采用英国 PPS 国际有限公司生产的 CIRAS—1 型便携式光合作用测定系统,测定了 3 年生枸杞叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光合有效辐射、细胞间隙和环境 CO_2 浓度等若干植物生理因子的逐时变化,分别选择连续 4 株枸杞树中树体中部生长正常、无病斑的活体叶片测量其光合速率等因子,每个时次分别进行 4 次重复,以平均值作为该时次的测量结果。与此同时,利用农田小气候综合观测方法开展了同时刻 50cm 、 100cm 、 150cm 、 200cm 高度处气温、湿度、辐射和风速测定,气象观测采用自制的由气象常规仪器组合的小气候综合测定仪,每个时次各高度连续读取 2 次记录,以避免误读。

2. 结果分析

2.1 枸杞净光合速率的日变化规律

图 1 是 6 月 22 日枸杞叶片净光合速率日变化为双峰型,11:00 和 15:00 叶片净光合速率维持在较高水平上,而午后出现低谷,表明枸杞存在光午休现象。光午休是植物较普遍的现象 小麦、大豆、油菜、花生、甜菜等都存在光午休现象^[3~5]。植物光午休的机理,韩鹰等^[7]认为 Rubisco 酶的初始活性和气孔导度下降可能是造成中午光合速率下降的原因,邓仲篪^[8]指出,水稻光午休是环境条件与内生节奏相互作用的结果,是长期适应环境的结果。Cumming 等^[9]认为光合、呼吸和水分传输都有自身的内在规律。

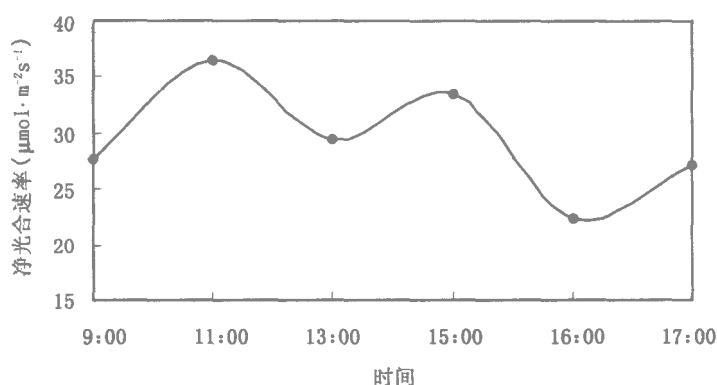


图 1 枸杞叶片净光合速率日变化

从 13:00~16:00 气温和叶温均维持在高值上来看,枸杞光午休除与辐射有直接关系外,气温高导致气孔导度降低,净光合速率下降,也是光午休的主要原因之一。值得注意的是,华北地区小麦和其它作物最大净光合速率一般出现在 10:00,12:00 出现光午休^[6]而宁夏与华北有 1h 的时差,枸杞、小麦最大净光合速率和光午休均落后华北 1h 说明植物光合与辐射强

度有关,也说明许多植物的光合作用在生理上有一定的共性。

从影响净光合速率的外部环境因素和内部因素综合来看,枸杞是耐旱植物,长期的自然驯化使其对水分控制上有自身的特点。高温下,午后强辐射造成气孔叶片蒸腾失水加剧和叶温的升高,刺激了气孔,气孔导度降低,避免了过量失水,但同时使 CO_2 吸收量减少和体内营养物质的传输减慢,导致光合速率降低。另外,午后强光、高温的条件增大了叶片光呼吸消耗,使净光合速率下降。

2.2 枸杞净光合速率与蒸腾作用和气孔导度的关系

枸杞净光合速率 (NPR) 与蒸腾速率 (TR) 存在弱的二次曲线关系:

$$\text{NPR} = 41.883 - 3.414\text{TR} + 0.194\text{TR}^2 \quad R = 0.533, F = 1.023 \quad (1)$$

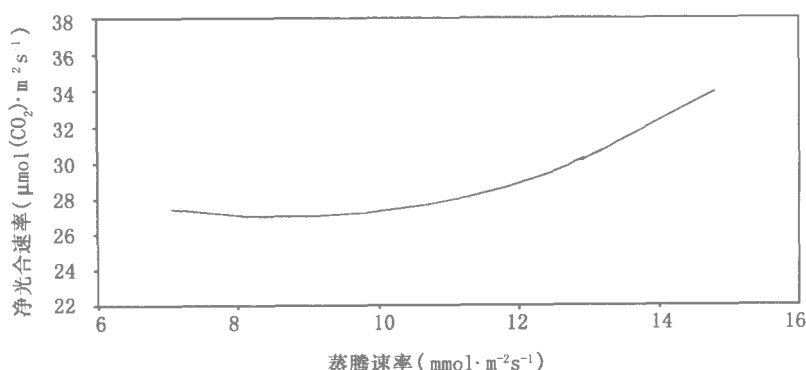


图 2 光合速率与蒸腾速率的关系

蒸腾速率在 $12\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,叶片净光合速率基本保持恒定,随着蒸腾速率的增大,光合速率急剧增大。

叶片净光合速率与气孔导度 D 也密切相关:

$$\text{NPR} = 15.328 + 0.012D - 1.831 \times 10^{-6}D^2 \quad R = 0.768, F = 2.154 \quad (2)$$

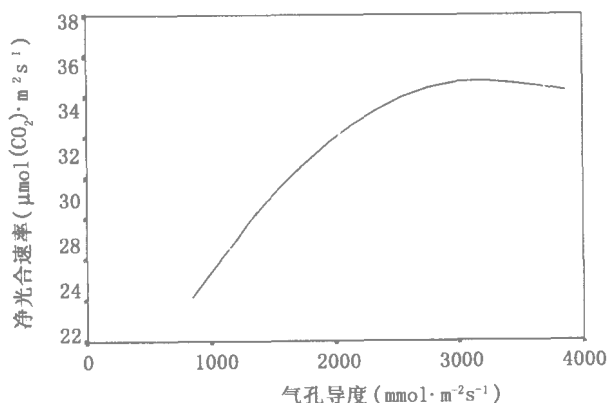


图 3 光合速率与气孔导率的关系

气孔导度影响蒸腾,继而影响光合。气孔导度低于 $3000\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 净光合速率随气孔导度的增大而增加,气孔导度继续增大,净光合速率表现平稳或略降。说明枸杞气孔导度大

于该临界值后，气孔阻力对光合的限制作用消失。

2.3 枸杞净光合速率与环境微气象因子的关系

2.3.1 净光合速率与光合有效辐射

阳光是植物光合作用的源，叶面接收的太阳总辐射与光合有效辐射呈线性关系，光合有效辐射直接反映了辐射的强度。一般认为，作物净光合速率与到达叶片的光合有效辐射存在如下关系：

$$NPR = \frac{P_{\max} aI}{P_{\max} + aI} \quad (3)$$

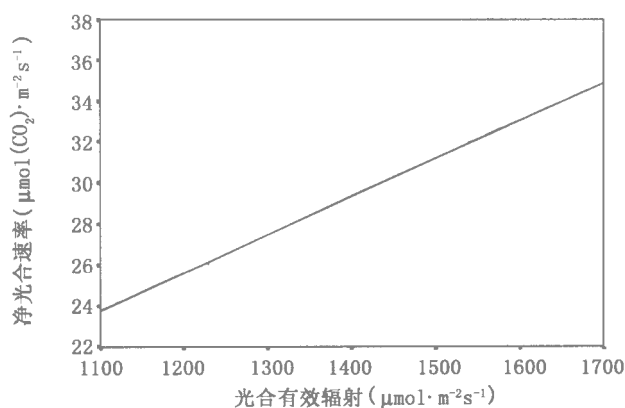


图 4 光合速率与生理有效辐射的关系

$P_{\max}$ 为饱和光合速率， I 为光合有效辐射， a 为弱光光合效率。但在枸杞生长过程中，净光合速率与叶面接收的光合有效辐射并没有表现出上述特点，而是呈线性关系，随光合有效辐射的增加净光合速率增大，可能与光合有效辐射范围窄，没有反映出真实的关系有关。

$$PNR = 3.429 + 0.019F \quad R = 0.69, F = 8.9 \quad \text{极显著。} \quad (4)$$

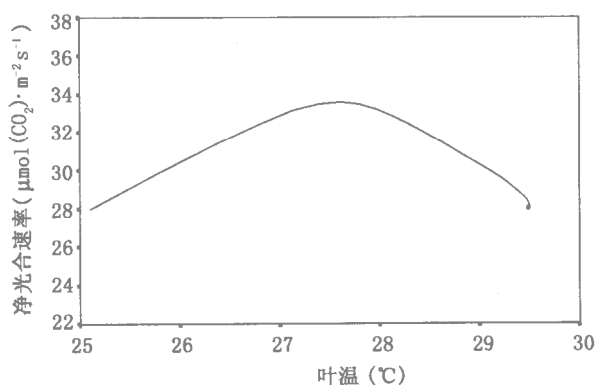


图 5 光合速率与叶温的关系

2.3.2 净光合速率与温度

光合作用是酶促反映过程, 根据生物学温度的三基点理论, 净光合速率应与温度呈二次曲线型^[10,11] 观测表明 枸杞净光合速率与气温、叶温均接近二次曲线关系 如叶温关系为:

$$PNR = -803.326 + 61.243 T_{\text{叶}} - 1.12 T_{\text{叶}}^2 \quad R = 0.462, F = 1.407 \quad (5)$$

叶温 27.3 以下 净光合速率随温度升高呈线性增大 超过该转折点 温度继续升高 净光合速率反而下降, 这时气孔开张度开始减小, 光合受到限制, 该温度是枸杞光合作用的最适温度, 也是产生光午休的叶温临界点。

2.3.3 净光合速率与水汽压

净光合速率与水汽压 e 存在很强的抛物线关系:

$$PNR = -1181.687 + 153.279 e - 4.836 e^2 \quad R = 0.707 \quad F = 1.498 \quad (6)$$

水汽压在 16hPa 以内 净光合速率随水汽压增大而增大 大于 16hPa 趋势相反。

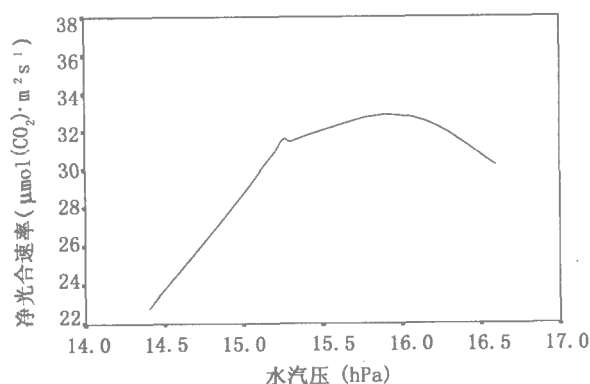


图 6 光合速率与水汽压之间的关系

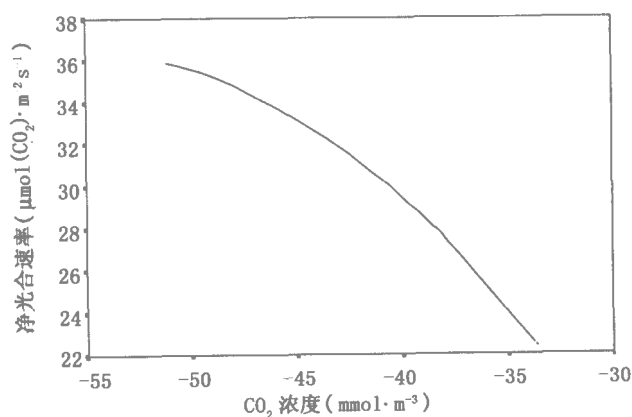


图 7 净光合速率与细胞 CO_2 浓度差的关系

2.3.4 净光合速率与 CO_2 浓度差

净光合速率是通过测定单位时间内同化 CO_2 量而确定的,受 CO_2 浓度差的影响,观测结果显示二者关系非常密切:

$$PNR = -(3.307 + 0.03 VPD) VPD \quad R = 0.97, F = 30.237 \quad (7)$$

CO_2 浓度差决定了光合速率。

3. 结语

本文根据试验资料,分析了枸杞光合速率与环境微气象因子的关系,其中有些关系与文献介绍的类似,间接验证了本文的结论,有些关系从未见有关报道,可能是一些新的发现,也可能存在误判,有待于今后增加试验样本得到验证。

参 考 文 献

- [1] 白寿宁. 宁夏枸杞研究. 银川: 宁夏人民出版社, 1999.
- [2] 董永祥 周仲显. 宁夏气候与农业. 银川 宁夏人民出版社, 1986. 121 ~ 129
- [3] 胡会庆 刘安国 王维金. 油菜光合速率日变化的初步研究. 华中农业大学学报, 1998, 17(5): 430 ~ 434
- [4] 傅金民 苏芳 张庚灵. 花生群体光合速率发展动态和日变化. 中国油料, 1995, 17(3): 17 ~ 21
- [5] 白祥和 吴存祥 曲文章等. 甜菜群体光合速率日变化与生理生态因子关系的研究. 中国甜菜糖业, 1995, 1: 18 ~ 20
- [6] 王焘 郑国生 邹琦. 干旱与正常供水条件下小麦光合午休及其机理的研究. 华北农学报, 1997, 12(4): 48 ~ 51
- [7] 韩鹰 陈刚 李克武等. 外部因素对小麦旗叶光合速率和 Rubisco 活性的影响. 江苏农业研究, 1999, 20(3): 27 ~ 32
- [8] 邓仲簏. 水稻光合日变化与内生节奏的关系. 中国水稻科学, 1994, 8(1): 9 ~ 14
- [9] Cumming B G E Wegner. Rhythmic processes in plants. *Ann Rev Plant Physiol*, 1968, 19: 381 ~ 408
- [10] 郑有飞 颜景义 万长建等. 小麦作物光合生产模拟研究. 南京气象学院学报, 1995, 18(4): 566 ~ 571
- [11] 冯定原 邱新法 颜景义等. 水稻净光合的模拟研究. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 269 ~ 275