

施用农家肥和化肥对盐碱地桑树生长和叶片光合日变化的影响^①

张会慧, 张秀丽, 胡彦波, 许楠, 金微微, 李鑫, 王良再, 孙广玉*

(东北林业大学生命科学学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 研究了施用化肥和农家肥对盐碱地桑树生长和叶片光合及叶绿素荧光日变化的影响, 结果表明: 盐碱地桑树的生长、光合和叶绿素荧光日变化明显受施肥的影响。施用化肥在一定程度上改善了盐碱地桑树的生长状况, 但其作用效果没有农家肥明显。施用农家肥不但促进了桑树地上部生长, 而且增加了桑树的根冠比, 说明施用农家肥可促进盐碱地桑树根系生长。施用农家肥提高了盐碱地桑树叶片光合能力, 表现在桑树的光合日积累量增加和光能原初转化效率提高, 维持了盐碱地桑树叶片在中午时 PS II 反应中心的活性, 减缓了盐碱地桑树叶片中午的光抑制。施用农家肥桑树叶片在 1 天之中可以维持较高的气孔导度和蒸腾速率, 以保证光合碳同化原料(CO₂)的供应, 且降低了桑树叶片中午时的叶面温度和叶片的卷曲程度, 从而保持了叶片对光能的捕获和利用能力。

关键词: 桑树; 盐碱土; 农家肥; 化肥; 光合日变化

中图分类号: Q945.1

据统计, 全世界 20% 的可耕地面积和 50% 的灌溉面积受到不同程度土壤盐渍化的影响^[1-2], 作为世界三大苏打盐碱土集中分布区之一, 松嫩平原盐碱化土地面积已达 3.2×10^6 hm², 而且盐渍化程度和面积有逐年增加的趋势^[3]。因桑树对盐碱胁迫有较强的忍耐性^[4-5], 近年来在松嫩平原盐碱程度高、难以种植农作物的土地植桑养蚕进行生态恢复和桑粮间作促进农民增收的模式已经初见成效, 桑树的生态效益和经济效益已经日益突出^[6-7]。

施肥是提升贫瘠土地质量和提高植物生产力的重要措施之一^[8-9], 但由于我国北方地区桑树的种植历史较短, 桑园合理施肥的基础知识尚不丰富, 特别是盐碱地桑园的田间管理目前较为粗放, 农民为了追求单一的桑叶产量, 多以增加化肥的施用为主。施用化肥虽然能够增加桑叶的产量和提高桑叶的品质, 在短期内获得较高的经济效益^[10], 但长期和(或)过量地施用化肥会破坏土壤结构^[11-12], 造成土壤肥力减弱^[13], 有加剧土壤盐渍化程度的潜在危害, 并且施用化肥的成本过高。研究表明, 施用农家肥可以提高土壤有机质含量^[14]、改善土壤理化性质^[15-16]、增加有益微生物

的数量^[17-18]和土壤酶的活性^[19], 对盐碱地的土壤改良具有重要的意义。光合作用是植物获得物质和能量的基础, 特别是在逆境条件下植物只有保持较高的光合能力才能生存和正常地生长。有关这方面的研究已积累了较多资料^[20-21], 尤其是反映植物在一天之中光合生产能力的光合日变化尤为重要^[22-23], 但目前有关盐碱地桑园合理施肥管理方面的研究尚不多见, 特别有关施肥对盐碱地桑树光合日变化方面的研究更为少见。为此本试验分别研究了盐碱地施用农家肥和化肥对桑树幼苗生长及光合和叶绿素荧光日变化特性的影响, 以期对盐碱地桑树的合理施肥提供一些基础数据, 为盐碱地优质桑园的建立和可持续发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料和处理

试验于 2011 年在位于松嫩平原黑龙江省大庆市肇州县兴城镇盐碱地生物多样性试验基地进行, 当地年均气温 3.4℃, 4 年年均降水量 418.9 mm, 7—9 月份降水量占年降水量的 73.1%, 年均地表蒸发量

基金项目: 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD201105)、国家自然科学基金项目(31070307, 30771746)、国家科技支撑项目(2011BAD08B02-3)和黑龙江重大科技攻关项目(GA09B201-02)资助。

* 通讯作者(sungy@vip.sina.com)

作者简介: 张会慧(1986—), 男, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 主要从事植物生理生态学研究。E-mail: xtwfwf@126.com

1 597.1 mm, 为年均降水量的 3.8 倍, 年均日照时数 3 014.4 h, 10℃年积温 2 921.3℃, 无霜期平均 137 天。该地土壤类型为苏打盐化草甸碱土, 耕层土壤理化性质为 pH 8.14~8.40, 含盐量 3.7 g/kg, 主要离子的含量: Cl^- 为 0.23 cmol/kg, CO_3^{2-} 为 0.09 cmol/kg, HCO_3^- 为 0.47 cmol/kg, SO_4^{2-} 为 0.16 cmol/kg, Na^+ 为 0.11 cmol/kg, K^+ 为 2.15 cmol/kg, Ca^{2+} 为 0.48 cmol/kg, Mg^{2+} 为 0.15 cmol/kg。

试验的供试品种为嫁接桑树(当地实生桑树“青龙”为砧木,“铁耙”为接穗), 为黑龙江省高寒地区推广的主要高产、抗寒、耐盐碱品种, 由黑龙江省蚕业研究所提供。试验采用小区处理方法, 小区采用垄作方式, 垄长 8 m, 垄距 0.67 m, 每小区 8 垄, 试验共设不施肥、施用化肥和施用农家肥 3 个处理, 每个处理 3 个小区重复, 各小区和重复采用随机区组排列, 每小区两侧各设 3 垄保护行, 小区之间设 0.5 m 的隔离带。桑树采用移栽的方式, 5 月初进行桑树的移栽, 株距 0.5 m, 田间密度为 7 000 株/hm²。桑树田间管理按照当地农民的大田管理。施用化肥处理将肥料均以磷酸二铵作底肥形式一次性施用, 用量 120 kg/hm², 施用农家肥处理按腐熟的猪粪以 3.0×10^4 kg/hm² (含 N 54.0 kg/hm², P 60.6 kg/hm², K 34.8 kg/hm²) 用量作底肥的形式一次性施用。8 月中旬进行各生长指标和光合及叶绿素荧光指标的测定。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 生长参数测定

选择各处理中生长相对一致的桑树测量单株叶片数, 并测量其桑树主干的高度以及与地面接触处直径, 分别记为株高和地径, 测量桑树幼苗主干上倒数第 4 片完全展开叶的叶片长度和宽度, 计算叶面积, 公式为: 叶面积=叶长×叶宽×0.634 5, 其中 0.634 5 为叶面积指数; 每个处理各收获长势均匀的 3 株待测植株, 将根系洗净, 分根系和地上部进行 105℃ 杀青 30 min、60℃ 烘干 30 h 至恒重后称其干质量, 即得到地下生物量和地上生物量, 并计算总生物量(地下生物量和地上生物量之和)、根冠比(地下生物量/地上生物量)。

1.2.2 叶片卷曲度日变化的测定

分别在 1 天之中上午 6:00 开始到下午 18:00(共计 12 h)每 2 h 按朱德峰等人^[24]的方法测量一次桑树幼苗主干上倒数第 4 片完全展开叶最宽处内卷后叶缘间距离(L_n), 然后把叶片展开, 测量其宽度(L_w), 则叶片的卷曲度 $LRI = (L_w - L_n)/L_w$, 每次测定重复 10 次, 为防止人为将叶片展开因素的干扰, 每次测定时选择不同植株上的叶片进行测定。

1.2.3 光合和叶绿素荧光参数日变化的测定

选择长势相对一致的桑树幼苗主干上的倒数第 4~5 片完全展开叶, 利用 CIRAS-1 便携式光合作用测定系统(PPsystem 公司, 英国)于晴朗无风的上午 6:00 开始到下午 18:00(共计 12 h)每 2 h 测定一次各桑树叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 浓度(C_i), 测定时光合仪叶室垂直对准太阳光线, 防止叶室出现阴影, 并用光合仪分别记录大气温度、叶面温度和光合有效辐射等参数。然后计算 1 天之中光合同化总量, 其公式为 $P = \Sigma[(P_{i+1} + P_i) \div 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3 600 \div 1 000]$, 式中, P (mmol/(m²·d))为测定当天的光合同化总量, P_i ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)指初测点的瞬时净光合速率, P_{i+1} ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)为下一测点的瞬时净光合速率; t_i (h)为初测点的瞬时时间, t_{i+1} (h)为下一测点的时间, j 为测试次数, 3 600 指每小时 3 600 s, 1 000 指 1 mmol, 即为 1 000 μmol ^[25]。在测定光合日变化的同时利用便携式脉冲调制荧光仪 FMS-2 (Hansatch 公司, 英国)测定经过 30 min 暗适应后倒数第四片完全展开叶片的最大荧光(F_m)和最大光化学效率(F_v/F_m)以及自然光照条件下的实际光化学效率(Φ_{PSII}), 方法参照 Hu 等^[26]。每次测定重复 3 次, 每一叶片的测定部位选择在叶片的第三、四叶脉之间, 距离主叶脉 2 cm 左右处, 为减少因测定时间引起的差异, 每个测定时间提前 15 min 开始测定, 并且每一处理的 3 次重复采用循环测定方法进行。测定当天的大气温度和光合有效辐射(PAR)的日变化曲线见图 1, 1 天之中大气温度和光合有效辐射变化均呈明显的单峰曲线, 二者峰值均出现在中午 12:00 左右, 分别达 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 36℃。

1.3 数据处理和统计方法

运用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析, 图中数据为 3 次重复的平均值±标准差(SE), 并采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异。

2 结果与分析

2.1 对桑树生长特性的影响

表 1 显示, 施肥对盐碱地桑树的生长特性影响较为显著。施用农家肥处理对桑树的株高、地径、叶片数和叶面积等产量构成因素均有明显的促进作用, 其中株高、地径和单株叶片数均极显著高于不施肥处理($P < 0.01$); 施用农家肥的作用大于化肥, 特别是对提高桑树叶面积的效果更为明显, 施用农家肥处理桑树叶片宽度显著高于不施肥处理($P < 0.05$), 叶长和叶面

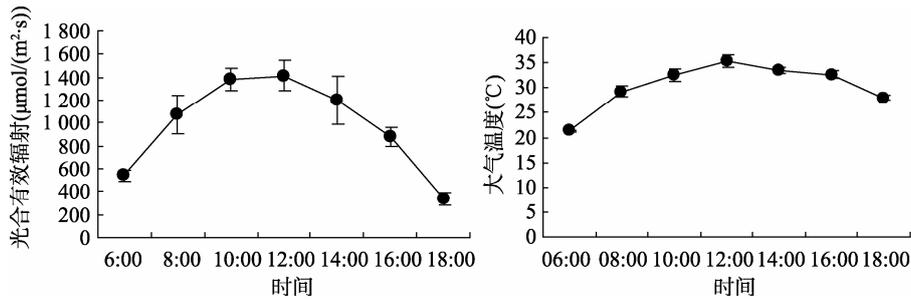


图 1 大气温度和光合有效辐射的日变化曲线
Fig. 1 Diurnal changes of PAR and temperature

表 1 施用农家肥和化肥对盐碱地桑树幼苗生长特性的影响

Table 1 Effects of growth characteristics of mulberry grown in salt and alkali soil under application of organic and chemical fertilizers

测定参数	对照	化肥	农家肥
株高(cm)	26.90 ± 5.02 cB	52.00 ± 6.57 bA	61.40 ± 4.41 aA
地径(cm)	0.64 ± 0.17 bB	1.18 ± 0.07 aA	1.22 ± 0.07 aA
单株叶片数	12.40 ± 1.4 bB	16.60 ± 1.74 aA	17.00 ± 2.37 aA
叶长(cm)	14.94 ± 0.49 bB	16.20 ± 0.93 bB	20.24 ± 1.24 aA
叶宽(cm)	11.44 ± 0.46 bA	11.34 ± 0.81 abA	12.84 ± 1.33 aA
叶面积(cm ²)	108.49 ± 6.38 bB	116.51 ± 10.15 bB	165.58 ± 24.19 aA
总生物量(g)	20.7 ± 2.14 bB	30.33 ± 1.19 aA	33.53 ± 2.88 aA
地上生物量(g)	13.77 ± 0.97 bB	18.27 ± 0.48 aA	18.3 ± 0.65 aA
地下生物量(g)	6.93 ± 1.60 bB	12.07 ± 1.60 bA	15.23 ± 2.49 aA
根冠比	0.50 ± 0.10 bA	0.66 ± 0.10 abA	0.83 ± 0.12 bA
1 天的净同化量	79.74 ± 13.86 bB	103.68 ± 15.48 ab	124.38 ± 12.42 aA

注:同行不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著,不同大写字母表示处理间差异在 $P < 0.01$ 水平极显著。

积极显著高于不施肥和施化肥处理($P < 0.01$)。施肥增加了盐碱地桑树 1 天的净同化量,施用农家肥处理比不施肥处理高 44.64 mmol/(m²·d)。施肥明显增加了桑树的生物量,各处理总生物量、地上部生物量和地下部生物量均表现为施用农家肥>施肥化肥>不施肥,并且施用农家肥处理明显促进了盐碱地桑树地下部生物量的积累,表现出根冠比的增加。

2.2 对桑树叶片温度和叶片卷曲程度日变化曲线的影响

各处理桑树叶片表面的温度在 1 天之中均呈现明显的单峰变化趋势,其峰值同大气温度一样也出现在中午 12:00。施用农家肥处理桑树叶片的表面温度在中午时明显低于不施肥处理 2°C 左右,而施化肥处理与不施肥处理没有显著差异。随着光合有效辐射的增加,桑树叶片主要通过叶片的卷曲来降低光能吸收的面积,不施肥对照处理桑树叶片的卷曲程度更为明显,特别是中午卷曲程度明显高于两种施肥处理,并且在 14:00 时两种施用处理桑树叶片的卷曲已经有所恢复,而不施肥处理桑树却仍保持较高的卷曲度,分别高于施化肥和农家肥处理 27.69% 和 41.08%,且差异均达极显著水平($P < 0.01$)。

2.3 对桑树叶片光合日变化的影响

由图 3 可以看出,桑树叶片的净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)日变化基本呈现双峰曲线, P_n 的峰值出现在 10:00 和 14:00,而 T_r 的峰值出现在 10:00 和 16:00,并且下午 P_n 的最大值明显低于上午,桑树叶片的光合作用存在明显的光合午休现象,表现出 12:00 时 P_n 和 T_r 的最低值。施用化肥和农家肥处理桑树叶片的 P_n 和 T_r 较不施肥对照处理均有不同程度的

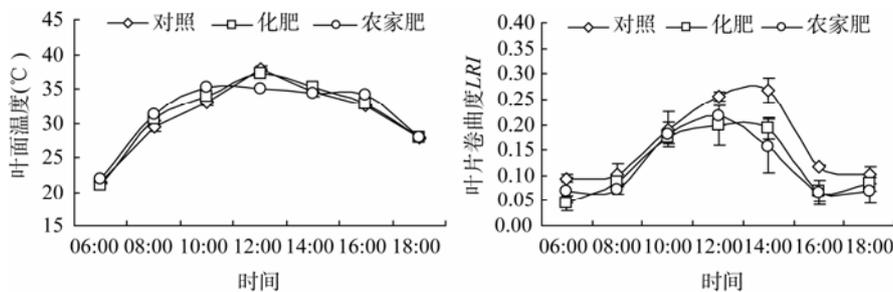


图 2 施用农家肥和化肥桑树叶片温度和叶片卷曲程度日变化曲线

Fig. 2 Diurnal changes of leaf temperature and rolling index of mulberry grown in salt and alkali soil under application of organic and chemical fertilizers

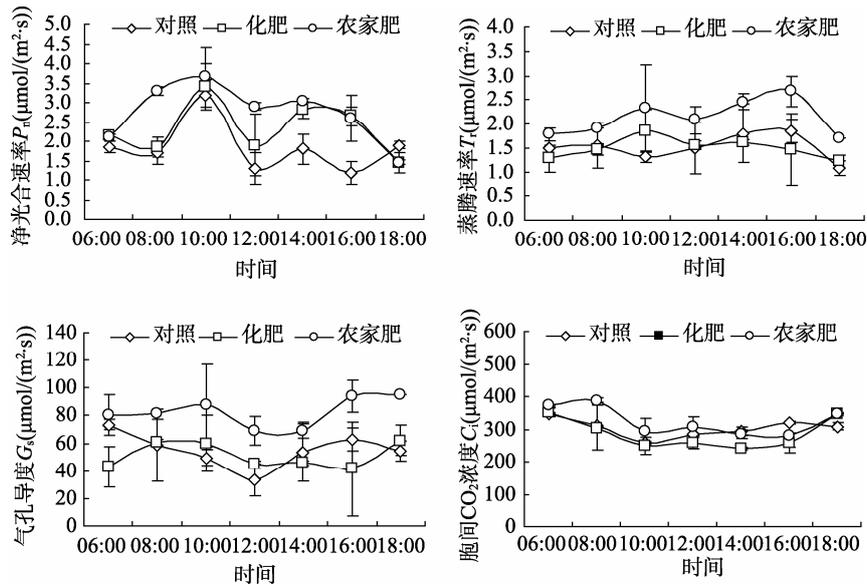


图 3 施用农家肥和化肥桑树叶片光合参数日变化曲线

Fig. 3 Diurnal changes of photosynthetic parameters in leaves of mulberry grown in salt and alkali soil under application of organic and chemical fertilizers

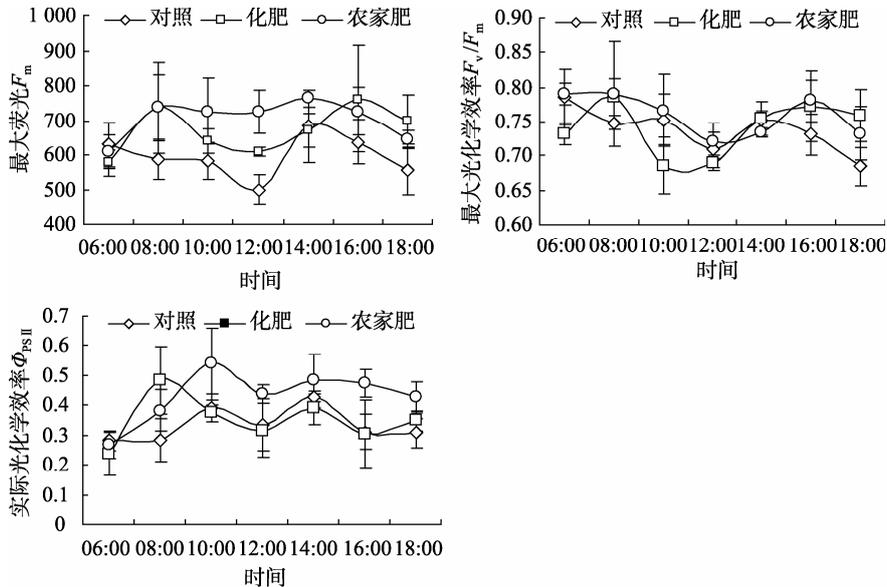


图 4 施用农家肥和化肥桑树叶片叶绿素荧光日变化曲线

Fig. 4 Diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters in leaves of mulberry grown in salt and alkali soil under application of organic and chemical fertilizers

增加,施用农家肥处理的效果更为明显。1天之中桑树叶片的气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)均表现出先下降后上升的趋势,即在 12:00 时 G_s 和 C_i 均出现最低值,但施用农家肥处理桑树叶片的 G_s 在 1 天之中均明显高于不施肥处理,但 C_i 与不施肥处理却没有显著差异($P>0.05$)。

2.4 对桑树叶片叶绿素荧光日变化的影响

由图 4 可以看出,1 天之中盐碱地桑树的最大荧光(F_m)和最大光化学效率(F_v/F_m)表现出双峰曲线,中午 12:00 时 F_m 和 F_v/F_m 均明显降低,光合作用存在明

显的午休现象,这与图 4 中 P_n 和 T_r 的变化结果相符。施肥处理明显提高 1 天之中盐碱地桑树的叶片的 F_m ,且施用农家肥处理 F_m 中午受抑制程度明显低于施用化肥处理和不施肥处理;施肥虽能在一定程度上增加 F_v/F_m ,但处理之间差异没有达显著水平($P>0.05$)。盐碱地桑树叶片的实际光化学效率(Φ_{PSII}) 1 天之中同样表现出双峰变化规律,施用农家肥处理明显增加了盐碱地桑树叶片的实际光化学效率,特别是改善了中午 Φ_{PSII} 的抑制情况,但施用化肥处理桑树叶片的 Φ_{PSII} 却与对照处理之间没有显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

受其大气温度和光合有效辐射等因素变化的影响,各处理桑树叶片的温度在 1 天之中均呈现明显的单峰变化趋势,其峰值同大气温度和光合有效辐射一样也出现在中午 12:00,但施用农家肥处理桑树叶片的表面温度在中午时却明显低于不施肥处理 2°C 左右,而施肥化肥处理却没有降低中午时桑树叶片的温度。较低的叶片温度保证了中午桑树叶片的正常光合碳代谢中 RuBP 羧化酶等酶类的活性以及活性氧防卫系统的正常功能,降低了光合作用的午休现象,植物叶片有效调节叶表温度的途径往往是以蒸腾潜热耗散的形式为主,生长在高温强光下的植物大多具有旺盛的蒸腾作用而使叶片温度比气温低,本试验中施用农家肥桑树叶片的蒸腾速率明显高于不施肥处理,从而导致叶面的温度降低。强光和其他逆境条件共同作用时常引起植物的光抑制现象^[27],在长期的进化过程中,植物体内形成多种防御光抑制的保护机制来降低活性氧的产生,植物除可以启动体内生理机制来防御外,形态学上的变化也是一种重要的适应机制,如一些植物可以通过卷叶来减少对光能的吸收,减少活性氧产生的机会^[28-30]。本试验结果发现,桑树叶片的在中午时为了降低高温强光共同作用引起的光合作用下调,随着光合有效辐射和大气温度的增加,主要通过叶片的卷曲来降低光能吸收的面积。虽然叶片的卷曲是桑树对强光高温的一种适应机制,但如果叶片过度卷曲同样也间接说明了桑树叶片的利用能力较低,并且可能是一种叶片失水的表现,本试验中不施肥处理桑树叶片的 1 天之中的卷曲程度更为明显,特别是在中午强光作用下,卷曲程度明显高于施肥处理,并且在 14:00 时施用化肥和农家肥处理桑树叶片的卷曲已经有所恢复,而不施肥处理桑树却仍保持较高的卷曲度,表明盐碱地桑园施肥明显增加了桑树叶片的对高温强光的适应能力。

桑树叶片的净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)日变化基本呈现双峰曲线, P_n 的峰值出现在 10:00 和 14:00,而 T_r 的峰值出现在 10:00 和 16:00,下午 T_r 的峰值滞后于 P_n 是由于中午高温强光的共同作用,桑树叶片的的气孔开度较低造成的,这与 G_s 的变化结果相符。 P_n 和 T_r 的最低值均出现在 12:00,说明桑树叶片的的光合作用存在明显的光合午休现象,光合午休造成下午光合碳同化的同化力(ATP 和 NADPH)积累不足,从而导致桑树叶片的下午的光合能力较弱,表现出下午 P_n 的最大值明显低于上午最大值。而施肥对桑树叶片的 1 天之中的 P_n 和 T_r 变化影响较大,特别是

施用农家肥处理桑树叶片的 P_n 和 T_r 在 1 天之中均显著高于不施肥处理,叶片 1 天之中光合同化总量较高(表 1)。为防止水分的过度蒸腾,提高叶片的保水能力,桑树叶片的在中午高温强光下主要通过降低气孔开度的方式来调节水分的利用,但降低气孔导度的同时也使光合原料 CO_2 供应受限,碳同化能力降低^[29],最终反馈抑制光反应中电子传递链上的电子传递(图 4)。1 天之中桑树叶片的 G_s 和 C_i 均表现出先下降后上升的趋势,在 12:00 时 G_s 和 C_i 均出现最低值。虽然中午时气孔关闭会防止叶片水分的过度蒸腾,提高叶片的保水能力,但蒸腾速率的降低也会使叶片温度上升,从而增大叶片遭受高温伤害的可能性^[30],而施用农家肥处理桑树叶片的 G_s 和 T_r 在 1 天之中却维持一个较高的水平,从而降低了桑树叶片的表面温度(图 2),其原因可能是施用农家肥土地因改善了盐碱地的土壤物理结构,使耕层土壤孔隙体积增大,有机质含量增加、聚水稳定性增强^[31],促进了桑树的根系发育(表 1),增加了根系的吸水能力,保证了桑树叶片的蒸腾作用的正常水分供应。另外,虽然施用农家肥处理可以增加盐碱地桑树叶片的的气孔导度,但施肥处理桑树叶片的 C_i 却与不施肥处理没有显著差异,说明在盐碱地施用农家肥处理桑树叶片的碳同化能力较强,可以保证同化力(ATP 和 NADPH)及时将细胞间的 CO_2 固定。同光合日变化的趋势相似,1 天之中桑树的最大荧光(F_m)和最大光化学效率(F_v/F_m)表现出双峰曲线,中午盐碱地桑树叶片的的光合能力减弱,存在明显的光合午休现象。施肥明显提高 1 天之中盐碱地桑树叶片的 F_m ,特别是施用农家肥处理 F_m 中午受抑制程度明显低于施用化肥处理和不施肥处理。PS II 反应中心处于完全关闭时的荧光产量(F_m)值可以在一定程度上反映出叶片中 PS II 有活性反应中心的数量^[32],因此,施用农家肥可以保证盐碱地桑树叶片的在中午时 PS 反应中心的活性。盐碱地桑树叶片的实际光化学效率(Φ_{PSII}) 1 天之中同样表现出双峰变化规律,而施用农家肥处理能明显增加桑树叶片的实际光化学效率,特别是在减轻桑树叶片的中午的光抑制方面起到了重要的作用,但施用化肥处理桑树叶片的 Φ_{PSII} 却与不施肥对照处理之间没有显著差异,同样说明了盐碱地施用农家肥的作用效果优于施用化肥。

4 结论

盐碱地桑树的的生长及其光合和叶绿素荧光日变化明显受施肥的影响,但施用化肥虽能在一定程度

上改善盐碱地桑树的生长状况,但其作用远不及农家肥,施用农家肥明显增加了桑树的光合能力,提高了桑树的 P_n 日积累量和光能的原初转化效率,减轻了桑叶叶片中午的光抑制程度,因此,在盐碱地桑园施肥化肥的作用效果明显大于化肥,因此建议盐碱地桑园管理中施用化肥的同时,要适量增加农家肥的施用。

参考文献:

- [1] Bhatnagar-Mathur P, Vadez V, Sharma KK. Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects[J]. *Plant Cell Reports*. 2008, 27, 411–424
- [2] Zhu JK. Plant salt tolerance[J]. *Trends in Plant Science*, 2001, 6(2): 66–71
- [3] 张会慧, 张秀丽, 李鑫, 丁俊男, 朱文旭, 齐飞, 张婷, 田野, 孙广玉. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 625–631
- [4] 张会慧, 张秀丽, 朱文旭, 许楠, 李鑫, 岳冰冰, 王良再, 孙广玉. 桑树叶片光系统 II 对 NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫的响应[J]. *北京林业大学学报*, 2011, 33(6): 121–126
- [5] 张会慧, 张秀丽, 胡彦波, 李鑫, 许楠, 王鹏, 梁明, 孙广玉. 碱性盐胁迫对桑树幼苗叶片叶绿素荧光和激发能分配的影响[J]. *经济林研究* 2011, 30(1): 6–12
- [6] 张会慧, 赵莉, 许楠, 朱文旭, 李鑫, 岳冰冰, 孙广玉. 间作模式下桑树与大豆叶片的光合日变化特点[J]. *经济林研究*, 2011, 29(1): 21–26
- [7] 郑晓媛, 赵莉, 许楠, 张会慧, 孙广玉. 桑树大豆间作地上部和地下部的种间作用研究[J]. *土壤*, 2011, 43(3): 493–499
- [8] 龚伟, 颜晓元, 王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. *土壤*, 2011, 43 (3): 336–342
- [9] 鲁艳红, 杨曾平, 郑圣先, 廖育林, 聂军, 谢坚, 向艳文. 长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤水稻土化学和生物化学性质的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 921–929
- [10] 许楠, 张秀丽, 张晓松, 张会慧, 朱文旭, 李鑫, 岳冰冰, 孙广玉. 供氮水平对田间桑树叶片产量构成因素和生理特性的影响[J]. *经济林研究*, 2011, 29(1): 121–126
- [11] Doran JW, Zeiss MR. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality[J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, 15: 3–11
- [12] 吕家珑, 张一平, 王旭东, 赵高霞, 张春惠. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 569–572
- [13] 赖庆旺, 李茶苟, 黄庆海. 红壤性水稻土无机肥连施与土壤结构特性的研究[J]. *土壤学报*, 1992, 29(2): 168–174
- [14] 陈修斌, 邹志荣. 河西走廊旱塬长期定位施肥对土壤理化性质及春小麦增产效果的研究[J]. *土壤通报*, 2005, 36(6): 888–890
- [15] Ferreras L, Gomez E, Toresani S, Firpo I, Totondo R. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(4): 635–640
- [16] Liu MQ, Hu F, Chen XY, Huang QR, Jiao JG, Zhang B, Li HX. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments[J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(2): 166–175
- [17] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对水稻土碳氮矿化的影响[J]. *土壤*, 2011, 43(4): 529–533
- [18] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 李燕婷, 孙瑞莲, 朱鲁生, 徐晶, 王丽霞, 李小平, 张夫道. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1 591–1 599
- [19] Bohme L, Langer U, Bohme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term experiments[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109: 141–152
- [20] Nguyena HT, Jörg L, Stampa P, Guerra-Peraza O. Low temperature stress in maize (*Zea mays* L.) induces genes involved in photosynthesis and signal transduction as studied by suppression subtractive hybridization[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47(2): 116–122
- [21] Wu QS, Xia RX. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2006, 163(4): 417–425
- [22] 张会慧, 张秀丽, 许楠, 贺国强, 金微微, 岳冰冰, 李鑫, 孙广玉. 外源钙对干旱胁迫下烤烟幼苗光系统 II 功能的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1 195–1 200
- [23] Tucci MLS, Erismann NM, Machado EC, Ribeiro RV. Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions[J]. *Photosynthetica*, 2010, 48(3): 421–429
- [24] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 不同叶片卷曲度杂交水稻的光合特性比较[J]. *作物学报*, 2001, 27(3): 329–333
- [25] 王兰兰, 何兴元, 陈玮. CO₂ 和 O₃ 浓度升高及其复合作用对华山松生长及光合日变化的影响[J]. *环境科学*, 2010, 31(1): 36–40
- [26] Hu YB, Sun GY, Wang XC. Induction characteristics and response of photosynthetic quantum conversion to changes in irradiance in mulberry plants[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164: 959–968
- [27] 张会慧, 包卓, 许楠, 尹鹏达, 王鹏, 孙广玉. 钙对低温高光锻炼下烤烟幼苗光合的促进效应[J]. *核农学报*, 2011, 25(3): 582–587
- [28] Kagawa T, Sakai T, Suetsugu N, Oikawa K, Ishiguro S, Kato T, Tabata S, Okada K, Wada M. A rhabdopsin NPL1: A phototropin homolog controlling the chloroplast high-light avoidance response[J]. *Science*, 2001, 291: 2 138
- [29] Downton WJS, Loveys BR, Gnaert WJR. Stomatal closure fully accounts for the inhibition of Photosynthesis by

- abscisic acid[J]. *New Phytologist*, 1988, 108: 263–266
- [30] Oda M, Thilakarathne DM, Li ZJ, Sasaki H. Effects of abscisic acid on high-temperature stress in cucumber[J]. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 1994, 63: 393–399
- [31] 李江涛, 钟晓兰, 赵其国. 畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(10): 2 837–2 845
- [32] 薛伟, 李向义, 林丽莎, 王迎菊, 李磊. 短时间热胁迫对疏叶骆驼刺光系统、Rubisco 活性和活性氧化剂的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(4): 441–451

Effects of Organic and Chemical Fertilizers on Characteristics of Growth and Photosynthetic Diurnal Variation of Mulberry Grown in Saline-alkali Soil

ZHANG Hui-hui, ZHANG Xiu-li, HU Yan-bo, XU Nan, JIN Wei-wei, LI Xin, WANG Liang-zai, SUN Guang-yu*

(College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this paper, the effects of organic and chemical fertilizers on plant growth, diurnal variation of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in leaves of mulberry grown in saline-alkali soil were investigated. The results showed that organic and chemical fertilizers applied to mulberry had a significant influence on plant growth and photosynthetic characteristics. Organic fertilizers applied to mulberry grown in saline-alkali soil were more efficient than that of chemical fertilizer to improve mulberry growth. Organic fertilizer not only increased above-ground plant growth of mulberry, but also ratio of root and shoot obviously, which indicated that organic fertilizer could promote the growth of mulberry root. Organic fertilizer improved photosynthetic capacity in leaves of mulberry grown in saline-alkali soil by increasing daily photosynthetic accumulation and efficiency of primary conversion of light energy to ensure activity of PS II reaction centers and alleviate photo inhibition at noon. Transpiration rate and stomatal conductance in leaves of mulberry during one day treated with organic fertilizers were higher than that of chemical fertilizers to insure carbon assimilation. And in leaves of mulberry treated with organic fertilizers leaf temperature and leaf curling degree at noon reduced, and capacity of light energy capture and utilization increased.

Key words: Mulberry, Saline-alkali soil, Organic fertilizer, Chemical fertilizer, Photosynthetic diurnal variation