

苏打盐碱胁迫对灌浆期水稻剑叶光合特性和产量的影响

高显颖¹, 义如格勒图¹, 巴图仓², 杨 壘³, 迟晓雪¹, 其力格尔¹, 邵奎文³, 耿艳秋³ (1. 呼伦贝尔市草原科学研究所, 内蒙古呼伦贝尔 021008; 2. 呼伦贝尔职业技术学院, 内蒙古呼伦贝尔 021008; 3. 吉林农业大学农学院, 吉林长春 130118)

摘要 [目的]探究苏打盐碱胁迫对灌浆期水稻剑叶光合特性和产量的影响。[方法]盆栽条件下,以苏打盐碱土与自然黑土按比例配制成8种不同浓度的盐碱土,于水稻灌浆期测定各处理水稻叶片光合生理指标。[结果]轻度盐碱胁迫下,水稻的 P_n 、 G_s 和 Tr 差异不明显;随着盐碱胁迫的进一步增强,各处理水稻的 P_n 、 G_s 和 Tr 下降显著。不同处理胞间 CO_2 浓度(C_i)变化不大,说明气孔限制小,盐碱胁迫下 P_n 的下降来自于非气孔限制因素。[结论]盐碱胁迫下,水稻的光合作用和产量受到影响,轻度盐碱胁迫下,水稻光合作用和产量下降不显著,随着盐碱胁迫的增强,开始显著下降。

关键词 盐碱胁迫;水稻;光合作用;产量
中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)08-0061-03

Effects of Saline Sodic Stress on Photosynthetic Characteristics of Flag Leaves and Yield of Rice at Filling Stage
GAO Xian-ying¹, YI Rugeletu¹, BA Tu-cang² et al (1. Hulunbuir Grassland Science Institute, Hulunbuir, Inner Mongolia 021008; 2. Hulunbuir Vocational Technical college, Hulunbuir, Inner Mongolia 021008; 3. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract [Objective] To study the effects of saline sodic stress on photosynthetic characteristics of flag leaves and yield of rice at filling stage. [Method] The pot culture experiment was conducted to study the photosynthetic and physiological indexes of flag leaves of rice at filling stage in different treatments by mixing 8 different concentrations of saline-alkali soils according to the proportion of the soda saline-alkali soil and natural soil. [Result] Under light saline sodic stress, the differences in P_n , G_s and Tr were not significant. With the further enhancement of saline-alkali stress, the differences in P_n , G_s and Tr between different treatments were significant. Intercellular CO_2 concentration (C_i) in different treatments had little changes, indicating that stomatal limitation effects were little. The decrease of P_n was from non-stomatal limitation effect under saline sodic stress. [Conclusion] Under saline-alkali stress, photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of rice decreased. Under light saline-alkali stress, photosynthetic characteristics and yield of rice showed no significant decrease. With the increase of saline-alkali stress, the decline became significant.

Key words Saline-sodic stress; Rice; Photosynthetic characteristics; Yield

水稻(*Oryza sativa* L.)是一种重要的粮食作物,尤其在中国,粮食播种面积的28%是水稻^[1],土地退化、人口膨胀、粮食短缺问题的日益显现引起人们对大片分布的盐碱荒地开发利用的重视。我国东北松嫩平原是世界上三大片集中分布苏打盐碱地区域之一,该地区分布有373万hm²盐碱化土地,其中有一半苏打盐碱土面积分布在吉林省西部^[2]。由于该类土壤中含有大量的Na₂CO₃和NaHCO₃,导致水稻抽穗延迟,延缓水稻正常生长发育。针对吉林西部庞大的盐碱土资源,开展盐碱土对水稻生长影响的研究具有深远的意义。

光合作用是作物产量形成的源泉,研究植物的光合作用有助于采取适当的栽培措施提高植物的光合能力,从而提高产量^[3]。很多研究表明,盐碱胁迫下植物叶片的光合能力降

低^[4],前人对水稻盐碱胁迫的研究多集中在NaCl、Na₂SO₄,而关于苏打盐碱胁迫对水稻光合影响的研究不多。鉴于此,笔者研究了以Na₂CO₃和NaHCO₃为主要成分的苏打盐碱胁迫对水稻光合特性和产量的影响,以期对盐碱地水稻光合生产提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于2013年5月在吉林农业大学农业现代化综合技术研究所进行。以苏打盐碱土与自然黑土按比例配制成不同浓度盐碱土。供试土壤的有机质含量和化学性质见表1。其中,含盐量3‰以下为轻度盐渍化土壤;3‰~5‰为中度盐渍化土壤;5‰以上为重度盐渍化土壤。

表1 不同处理供试土壤的化学性质比较

Table 1 Comparison of chemical properties of tested soils in different treatments

处理编号 Treatment code	自然土: 盐碱土 Natural soil: Saline-sodic soil	pH	电导率//S/m Electrical conductivity	含盐量 Salt content//‰	有机质含量 Organic matter g/kg
CK	10:0	7.23	52.01	1.10	20.60
A	9:1	7.92	200.13	2.20	20.51
B	8:2	8.23	330.07	3.30	17.63
C	7:3	8.72	383.11	4.30	17.50
D	6:4	9.09	491.02	5.40	16.11
E	5:5	9.28	569.07	6.50	16.00
F	4:6	9.57	700.21	7.60	13.90
G	3:7	9.79	771.09	8.70	13.43

1.2 试验材料

1.2.1 供试土壤。自然黑土来自吉林农业大学试验地,自然盐碱土来自吉林省西部松嫩平原,这2种土壤为供试土壤。

作者简介 高显颖(1987—),女,安徽亳州人,助理研究员,硕士,从事作物高产理论与技术研究; * 通讯作者,教授,博士,从事盐碱地水稻高产栽培理论与技术研究及教学工作。
收稿日期 2017-03-02; 修回日期 2017-12-26

1.2.2 供试品种。吉林省农业科学院选育的耐盐碱水稻品种长白 9 号为供试材料。

1.3 试验设计 试验所选盆上口径 30 cm, 下口径 20 cm, 高 26 cm, 每盆装土 15 kg, 选用盆栽法。5 月 23 日插秧, 按每盆 3 穴, 每穴 3 株的方式进行分布。试验设 8 个处理(如表 1), 6 次重复, 随机排列, 施肥时期与施肥量: 基肥为施复合肥 8 g/盆, 追施尿素 1 g/盆于分蘖初期、拔节孕穗期。分蘖后期, 一部分处理的水稻由于盐碱胁迫重逐渐死亡, 因此灌浆期只测定了 7 个处理的指标。

1.4 指标测定

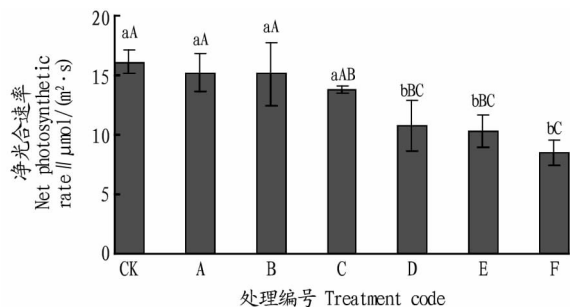
1.4.1 光合指标的测定。在水稻灌浆期标记叶片, 挑选每个处理生长相对一致, 且具有代表性的 3 株完好剑叶。于晴天 09:30—10:30 用 LI-6400 型便携式光合仪测定各水稻剑叶, 测定的指标有净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr), 共 3 次重复。

1.4.2 产量测定。每个处理选取 5 盆成熟期的水稻进行测产。每盆有效穗数、穗粒数、千粒重为主要的测定项目。

1.5 数据处理 采用 Microsoft Excel 软件对数据作图, 用 DPS(Data Processing System)进行数据差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对水稻剑叶光合特性的影响 叶片的光合作用是其物质生产和生理代谢的重要过程, 植物光合速率与土壤盐碱强弱关系密切。从图 1 可以看出, 在盐碱胁迫下, 水稻的净光合速率(P_n)呈逐渐降低的趋势。差异不显著的 4 个处理是 CK、A、B 和 C; 随着盐碱胁迫的不断增强, 下降的程度也加剧。处理 D 比 CK 低 24.40%, 处理 F 比 CK 低 43.63%。处理 D、E、F 与 CK 相比差异均达极显著水平($P < 0.01$)。



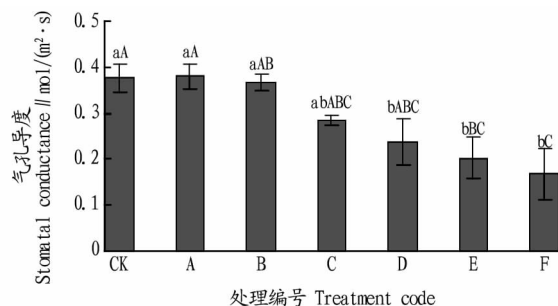
注: 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

Note: Different lowercases indicated significant differences ($P < 0.05$); different capital letters indicated extremely significant differences ($P < 0.01$)

图 1 不同处理对净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the net photosynthetic rate

气孔导度的强弱代表了植物气孔传导水汽和 CO_2 的能力^[5]。从图 2 可以看出, 在盐碱胁迫下, 气孔导度(G_s)呈逐渐下降趋势。CK 与处理 A、B、C 差异不显著。从处理 D 开始, G_s 下降明显, 其中处理 D 比 CK 低 37.15%, 差异达显著



注: 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

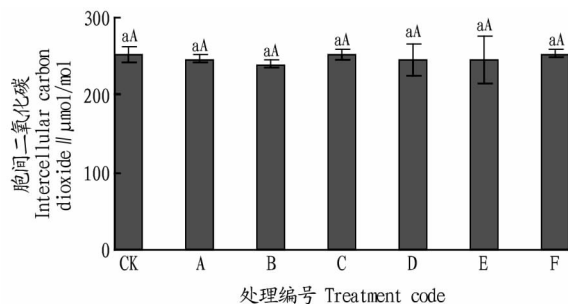
Note: Different lowercases indicated significant differences ($P < 0.05$); different capital letters indicated extremely significant differences ($P < 0.01$)

图 2 不同处理对气孔导度的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on the stomatal conductance

水平($P < 0.05$)。处理 E、F 均比 CK 低, 差异达极显著水平($P < 0.01$)。

由图 3 可知, 各个处理的 C_i 相差不大, 且随着盐碱浓度的增加, 没有规律可寻。各处理之间及处理与 CK 间差异均不显著。



注: 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

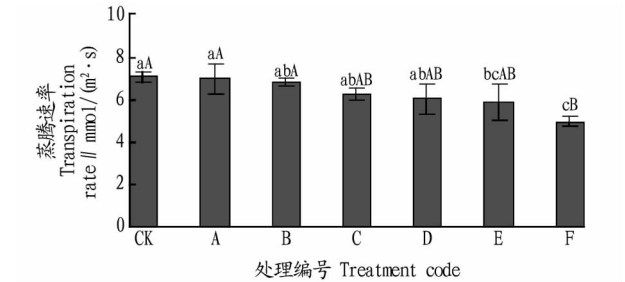
Note: Different lowercases indicated significant differences ($P < 0.05$); different capital letters indicated extremely significant differences ($P < 0.01$)

图 3 不同处理对胞间二氧化碳浓度的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the concentration of intercellular carbon dioxide

蒸腾作用是植物不可缺少的生理过程, 而蒸腾作用与植物 P_n 高度相关^[6]。由图 4 可知, 在盐碱胁迫下, 蒸腾速率(Tr)呈逐渐下降的趋势。处理 A 比 CK 低 1.33%, 处理 B、C、D 也均比 CK 低, 差异不显著。处理 E 比 CK 低 17.16%, 差异达显著水平($P < 0.05$)。处理 F 比 CK 低 29.67%, 差异达极显著水平($P < 0.01$)。

2.2 盐碱胁迫对水稻产量的影响 水稻产量主要由单位面积穗数、每穗粒数、千粒重 3 个因素决定, 其中有效穗数与产量关系最密切^[7]。但由于该试验土壤的高可溶性盐含量、高 pH 等特点, 水稻的生长发育受到了严重影响。长白 9 号水稻品种的抗性强、耐盐碱性强, 在 $\text{pH} < 8.5$ 的条件下均能表现正常^[8]。



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

Note: Different lowercases indicated significant differences ($P < 0.05$);different capital letters indicated extremely significant differences($P < 0.01$)

图 4 不同处理对蒸腾速率的影响

Fig.4 Effects of different treatments on the transpiration rate

表 2 盐碱胁迫对水稻产量的影响					
Table 2 Effects of saline-alkali stress on the yield of rice					
处理编号 Treatment code	千粒重 1 000-grain weight//g	有效穗数 Number of productive ear//m ²	穗粒数 Grain number per ear//粒	结实率 Seed- setting rate//%	产量 Yield kg/hm ²
CK	25.11 ± 1.07 aA	477.71 ± 84.26 aA	79.26 ± 2.70 aA	95.42 ± 1.42 aA	9 071.97 ± 651.49 aA
A	24.65 ± 1.27 aA	445.22 ± 48.09 abAB	72.82 ± 8.90 aA	94.92 ± 0.79 aA	8 587.42 ± 863.01 abAB
B	23.82 ± 1.30 aA	382.17 ± 63.69 cBC	71.75 ± 4.34 aA	80.66 ± 0.30 bB	6 182.75 ± 580.73 bB
C	19.51 ± 1.10 bB	382.17 ± 63.69 cBC	64.31 ± 6.05 aAB	73.92 ± 0.57 bB	4 544.45 ± 433.33 cBC
D	17.52 ± 1.54 bB	318.47 ± 63.69 dCD	54.73 ± 11.87 bBC	48.31 ± 7.03 cC	1 475.25 ± 430.92 dCD
E	13.57 ± 2.50 cC	305.73 ± 45.15 deD	53.84 ± 4.02 bBC	26.49 ± 4.33 dD	556.58 ± 126.47 deD
F	6.64 ± 2.20 dD	233.55 ± 48.65 eD	43.74 ± 3.02 bC	15.41 ± 1.58 eE	104.47 ± 30.32 eD

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

Note: Different lowercases indicated significant differences($P < 0.05$);different capital letters indicated extremely significant differences($P < 0.01$)

直接或间接影响作物产量。试验结果表明,随着土壤 pH、电导率的增加,有机质的含量降低,水稻生长受到影响,水稻的光合作用和产量逐渐降低。

盐碱胁迫降低 P_n ,这是因为植物细胞对盐分最敏感的细胞器是叶绿体,盐碱胁迫使叶绿体结构改变,导致 P_n 下降^[9]。试验结果表明,从净光合速率看,CK 与处理 A、B、C 在轻度盐碱胁迫下无显著差异。从处理 D 开始, P_n 下降显著。逆境条件下水稻光合作用下降的另一个原因是 G_s 降低,阻碍了 CO_2 的供应;叶绿体同化 CO_2 能力降低,盐碱胁迫使 G_s 、 Tr 显著降低,导致水稻光合作用下降,进而使水稻产量下降。试验结果还表明,盐碱胁迫下 G_s 和 Tr 显著下降,而 C_i 变化不大,说明此时细胞内有足够的 CO_2 来供给叶片进行光合作用,气孔限制小,推测盐胁迫条件下光合作用的下降可能来自于非气孔因子。

试验结果表明,处理 D 是一个转折点。当 $pH < 9.09$ 、电导率 $< 491.02 \mu S/cm$ 、有机质含量 $> 16.00 g/kg$ 时,各处理的光合指标变化不明显,说明此时土壤中盐碱浓度对水稻光合作用及产量影响不大。当 $pH > 9.09$ 、电导率 $> 491.02 \mu S/cm$ 、有机质含量 $< 16.00 g/kg$ 时,净光合速率、气孔导度、蒸腾速率显著下降,说明此浓度盐碱土壤对水稻的光合能力、生长及产量影响显著。

当土壤 $pH > 9.57$ 、电导率 $> 700.21 \mu S/cm$ 、有机质含量 $< 13.90 g/kg$ 时,水稻死亡,说明此时土壤不适合水稻生长。

由表 2 可知,随着盐碱浓度的增加,有机质含量减少,导致水稻分蘖数降低,从而降低有效穗数。各个处理有效穗数随盐碱浓度的增加而减少,从大到小依次为 CK、处理 A、处理 B、处理 C、处理 D、处理 E、处理 F。此外,处理 C 的 pH 8.72,水稻的有效穗数开始受到影响。从处理 D 开始有效穗数下降显著,差异达显著水平($P < 0.05$)。盐碱胁迫影响单位面积穗数、每穗粒数、千粒重。水稻的产量随着盐碱胁迫的增强呈递减趋势。CK 的产量最高,CK 与处理 A、B 差异不显著。随着盐碱浓度的进一步加强,水稻产量开始显著下降。

3 讨论

土壤 pH、电导率、有机质是土壤重要的理化性质。土壤 pH、电导率影响着植物的生长发育。土壤肥力通过土壤有机质含量来衡量。土壤有机质对土壤肥力的影响是多方面的,

4 结论

盐碱胁迫下,水稻剑叶的光合作用和产量均下降。在轻度盐碱胁迫下,下降不显著。随着盐碱胁迫的进一步增强,水稻的光合作用和产量显著下降。关于土壤盐碱胁迫对植物光合特性和产量影响的研究已经取得了一定成果,但由于盐碱类型及环境条件、不同试验方法等因素的影响,盐碱土影响植物生长发育和光合作用机理的研究还不够深入和全面,仍有待于进一步研究。

参考文献

[1] HUANG J,ROZELLE S,HU R,et al. China's rice economy and policy:Supply,demand and trade in the 21st century[M]//SOMBILLA M,HOSSAIN M,HARDY B. Developments in the Asian rice economy. Los Baños,Philippines;International Rice Research Institute,2001:33 - 58.

[2] 刘兴土. 松嫩平原退化土地整治与农业发展[M]. 北京:科学出版社,2001:125 - 128.

[3] 马德华,庞金安,霍振荣,等. 大棚黄瓜光合作用日变化及环境因素对光合作用的影响[J]. 河北农业大学学报,1998,21(4):59 - 63.

[4] BALL M C,ANDERSON J M. Sensitivity of photosystem II to NaCl in relation to salinity tolerance. Comparative studies with thylakoids of the salt - tolerant mangrove,Avicennia marina,and the salt sensitive pea,Pisum sativum[J]. Aust J Plant Physiol ,1986,13: 689 - 698.

[5] 卫新菊,贾志宽,韩清芳,等. 施肥对紫花苜蓿分枝期光合特性的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(12):77 - 83.

[6] 邵玺文,韩梅,韩忠明,等. 不同生境条件下黄芩光合日变化与环境因子的关系[J]. 生态学报,2009,29(3):1470 - 1477.

[7] 薛青武,陈培元. 灌浆期土壤干旱条件下氮素营养对小麦旗叶光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究,1989(3):86 - 93.

[8] 李彻. 吉林省水稻育种取得突破 长白 9 号种植面积超过外引品种[J]. 中国稻米,1995(6):22.

[9] SMIRNOFF N,COLOMBE S V. Drought influences the activity of enzymes of the chloroplast hydrogen peroxide scavenging system[J]. J Exp Bot, 1988,39(205):1097 - 1108.