

盐碱地甜高粱光合特性及农艺性状变化研究

冯国郡^{1,2}, 再吐尼古丽·库尔班², 朱敏²

(1. 新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 选用甜高粱中早熟品种“新高粱 3 号”、中晚熟品种“新高粱 9 号”, 研究了盐碱地种植条件下其光合参数、农艺性状变化特征。结果表明: (1) 与对照田相比, 盐碱地条件下参试品种生育期间叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、水分利用效率(WUE)、叶绿素 SPAD 值($SPAD$)的平均值均较低, 差异达极显著水平($P < 0.01$), 生育后期更为显著; 新高粱 3 号在盐碱地的 P_n 、 G_s 、 WUE 、 $SPAD$ 均值皆高于新高粱 9 号, Tr 与 C_i 则低于新高粱 9 号。(2) 盐碱地新高粱 3 号生育期提前 9 d, 新高粱 9 号一直未抽穗。两品种盐碱地的生物产量分别低于对照田的 57.8% 和 76.5%, 含糖锤度分别低于对照田 38.5% 和 100.0%。(3) 对照田新高粱 3 号、新高粱 9 号的 P_n 与 G_s 、 PAR 、 Ta 达到了极显著相关, 新高粱 3 号的 P_n 和 Tr 达到显著相关; 盐碱条件下, 两品种的 P_n 与 PAR 、 Ta 、 Ca 达极显著和显著相关, 与其它因子间相关不显著。甜高粱受盐碱胁迫净光合速率的下降原因抽穗前主要为气孔因素, 抽穗后主要为非气孔因素。新高粱 3 号的耐盐碱能力强于新高粱 9 号。利用盐碱地种植甜高粱除选择合适的耐盐碱品种外, 还应注重种植效益和土地质量保护等生态效益。

关键词: 甜高粱; 光合特性; 农艺性状; 盐碱田
中图分类号: S514.034 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0166-07

Photosynthetic characteristics and agronomic traits of sweet sorghum in saline-alkaline soil

FENG Guo-jun^{1,2}, Zaituniguli·Kuerban², ZHU Min²

(1. Agronomy College of Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: Two sweet sorghum cultivars, mid-early maturity cultivar “Xingaoiliang 3” and mid-late maturity cultivar “Xingaoiliang 9”, were planted in saline-alkaline soil. Photosynthetic characteristics and agronomic traits of them were studied. The result showed that: (1) Compared to control, net photosynthetic rate(P_n), transpiration rate(Tr), stomatal conductance(G_s), intercellular CO_2 concentration(C_i), water use efficiency(WUE), and SPAD value($SPAD$) were significantly lower in saline-alkaline soil, especially at late growth period. P_n , G_s , WUE , and $SPAD$ of Xingaoiliang 3 were higher whereas Tr and C_i were lower than those of Xingaoiliang 9 in saline-alkaline soil. (2) The growth duration of “Xingaoiliang 3” was shortened by 9 days, while “Xingaoiliang 9” only survived until jointing stage in saline-alkaline soil. Compared to control, the biomass of two sweet sorghums in saline-alkaline soil was reduced by 57.8% and 76.5%, respectively, and sugar brix by 38.5% and 100%. (3) The correlation analysis indicated that P_n was highly correlated with G_s , PAR , and Ta . At early stage, the reduction in P_n was associated with stomatal limitation, whereas non-stomatal factor was the main cause after heading.

Keywords: sweet sorghum; photosynthetic characteristics; agronomic traits; saline-alkaline soil

干旱和半干旱地区土壤的盐渍化已成为限制农作物产量的重要因素^[1],我国盐渍化土地面积约1.7万 km²,其中轻度和中度盐渍化约占到全部盐渍化土地的 50% 以上,因此,开发和利用该部分土地对我国农业生产具有极其重要的意义。甜高粱 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 抗旱、耐涝、耐盐碱, 适应性强, 是非粮能源作物^[2-3], 种植甜高粱利用其茎秆生产乙醇潜力巨大^[4-5]。光合作用是植物生产最

收稿日期: 2013-10-29
基金项目: 新疆农业科学院优秀青年科技人才基金项目 (xjny - 2012 - 023); 国家现代高粱产业技术体系项目 (CARS - 06 - 03)
作者简介: 冯国郡 (1970—), 女, 研究员, 新疆奇台人, 在读博士, 主要从事作物育种及栽培研究。E-mail: fengguojun@xj126.com。

基本的生理过程之一。作物生物学产量的 90% ~ 95% 来自于光合作用产物,只有 5% ~ 10% 来自于根系吸收的营养成分^[6-7],光合作用是形成作物产量的物质基础^[8]。因此,研究作物光合作用及其与环境条件的关系,对于揭示作物生长发育规律,指导作物高产优质栽培和培育高产品种均具有重要的理论和实践意义。随着生物质能源作物研究的兴起,近几年来,甜高粱的耐盐碱研究逐步增多,主要有耐盐碱种质的筛选^[9-12]、耐盐指标的筛选^[11]、耐盐碱机理^[10,13-14]、生理指标^[14-15]、光合特性^[16]及对盐碱地农艺性状的影响^[17-18],但多数为室内萌芽期、苗期的研究。本研究在新疆正常壤土和中度盐碱地自然条件下,对当地甜高粱主栽品种光合特性、叶绿素、水分利用效率、产量等变化进行研究,探讨甜高粱在盐碱地光合变化规律、影响因子及生理机制,为有效开发利用西北干旱区盐碱土地,发展甜高粱生产提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验区位于新疆农业科学院玛纳斯试验站,该站位于东经 86°14',北纬 11°14',海拔 470 m。本试验以当地正常壤土地为对照,试验地土壤类型的全盐含量、pH 值、土壤养分含量等见表 1。供试材料为甜高粱中早熟品种新高粱 3 号、中晚熟品种新高粱

9 号。2012 年 5 月 3 日同期播种。试验区行长 5 m,行距 0.6 m,株距 0.20 m,保苗数 75 000 株·hm⁻²,10 行区,3 次重复,小区面积 30 m²。播种时每公顷施种肥磷酸二铵 300 kg、硫酸钾 225 kg;拔节期结合甜高粱中耕、开沟,每公顷施复合肥 195 kg,尿素 150 kg,硫酸钾 112.5 kg。整个生育期对照田浇水 5 次,盐碱地由于土壤板结呈泥浆,不渗水,只浇水 2 次。

1.2 叶片光合特性的测定

选择晴天早晨,在自然光照下采用便携式光合测定系统(CI-340 型,美国 CID 公司)于拔节期 6 月 22 日起,每隔 7 d 对甜高粱叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)等生理指标进行测定,同时得到光合有效辐射(PAR)、空气相对湿度(RH)、气温(T_a)、环境 CO₂ 浓度(C_a)等参数。叶片水平水分利用效率(WUE , $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)的计算公式为: $WUE = P_n / Tr$

选择 5 株长势一致的植株挂牌,测定从上至下第 1、2、3 片功能叶,对叶片的中部进行测定,记录每片叶测试数据,重复 3 次,取平均值。用 SPAD-502 叶绿素仪测定叶绿素含量(以 SPAD 值记),分别在叶片顶部、中部、下部取三个点测定,取平均值作为结果。

1.3 数据处理

用 Excel 软件进行数据处理和作图,用 DPS 软件进行相关分析和方差分析,并进行 Duncan 多重比较。

表 1 不同盐碱土壤养分及盐分含量

Table 1 Nutrients and salt contents of the test soils

试验土壤 Experimental soil	深度 Depth/cm	pH	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	水溶性氮 Water soluble nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	全盐 Salt content /%
对照田 CK	0~20	8.56	10.1	27.05	353.5	69.65	0.05
盐碱地 Saline alkaline land	0~20	9.56	10.4	39.1	704	49.9	0.46

2 结果与分析

2.1 两种土壤类型下田间微气象因子

从图 1 可以看出,对照田和盐碱地田间光合有效辐射 PAR (图 1a)均于拔节时期(06-22)达到最大值,其值分别为 1 728 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 1 824 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,对照田和盐碱地的光合有效辐射均值分别为 1 408 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 1 513 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,两者之间不存在显著差异($P > 0.05$);田间空气相对湿度(图 1b)在拔节期(06-22 日~07-06)两种处理下变化趋势不同,对照田经历了上升—下降过程,

而盐碱地拔节初期田间空气相对湿度最高为 38.7%,经历了下降—上升过程。至拔节末期两种处理田间空气相对湿度基本一致,而后经历小幅上升,至开花期(08-03)达到较高水平,随后开始缓慢下降,此阶段盐碱地空气相对湿度均低于对照田。对照田和盐碱地均值分别为 34.1%和 31.9%,两者之间不存在显著差异($P > 0.05$);两种处理下生育期空气温度 T_a (图 1c)均值分别为 34.6℃和 35.5℃,环境 CO₂ 浓度(图 1d)均值分别为 503.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 482.9 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,皆不存在显著差异($P > 0.05$)。

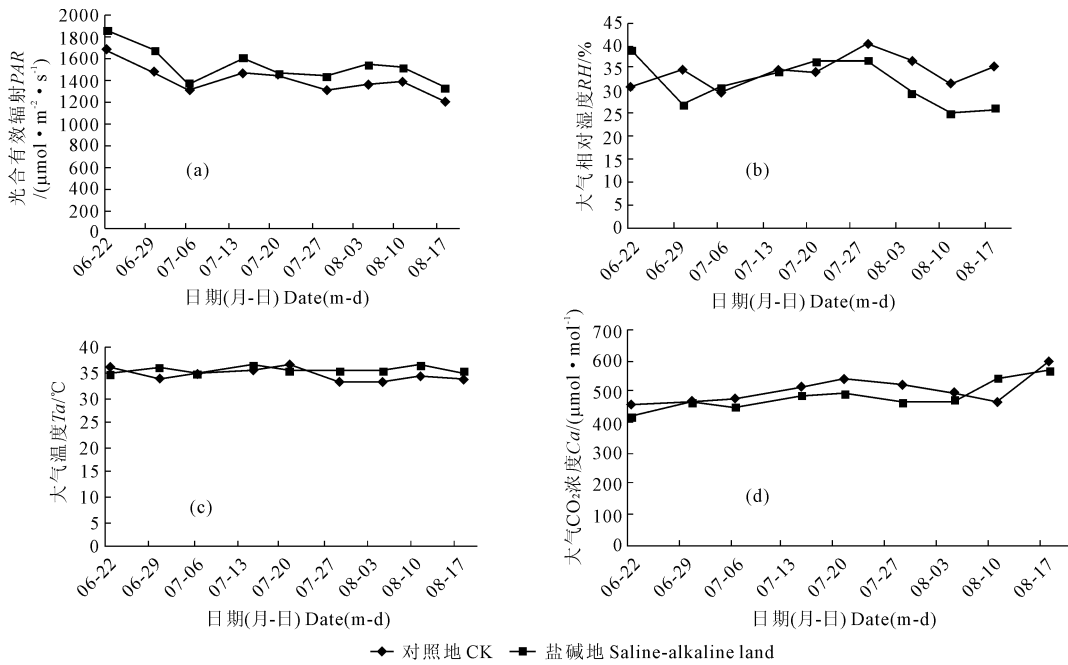


图 1 对照田和盐碱地田间微气象因子

Fig.1 Photosynthetic active radiation (PAR), relative humidity (RH), air temperature (Ta), and ambient CO₂ concentration (Ca) of the control and saline-alkaline

2.2 净光合速率 (Pn) 变化

从图 2a 可以看出,与对照田相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 Pn 平均值为 $13.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照下降了 40.7%,新高粱 9 号 Pn 平均值为 $12.15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照下降了 43.7%。两品种盐碱地与对照地 Pn 均值达极显著差异 ($P < 0.01$)。

盐碱条件下,早熟品种新高粱 3 号在各时期的 Pn 极显著低于对照 ($P < 0.01$),而且 Pn 的峰值推后,对照在抽穗期 (07 – 15) 达到峰值为 $29.27 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而盐碱地在挑旗期 (07 – 21) Pn 最高为 $24.92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,峰值过后对照 Pn 下降缓慢,

成熟期 (08 – 25) Pn 仍为 $19.63 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,盐碱地 Pn 迅速下降,成熟期 (08 – 18) Pn 只有 $0.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;晚熟品种新高粱 9 号除拔节初期 (06 – 22) 外,其余各时期的 Pn 极显著低于对照 ($P < 0.01$),盐碱地与对照皆在拔节期达到峰值,对照地峰值为 $29.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,盐碱地为 $28.43 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。峰值过后对照 Pn 下降缓慢,成熟期 (09 – 14) Pn 为 $10.36 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,盐碱地 Pn 则迅速下降,生育末期 (08 – 18) Pn 只有 $0.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。新高粱 3 号在对照地块及盐碱地的 Pn 均值皆高于新高粱 9 号。

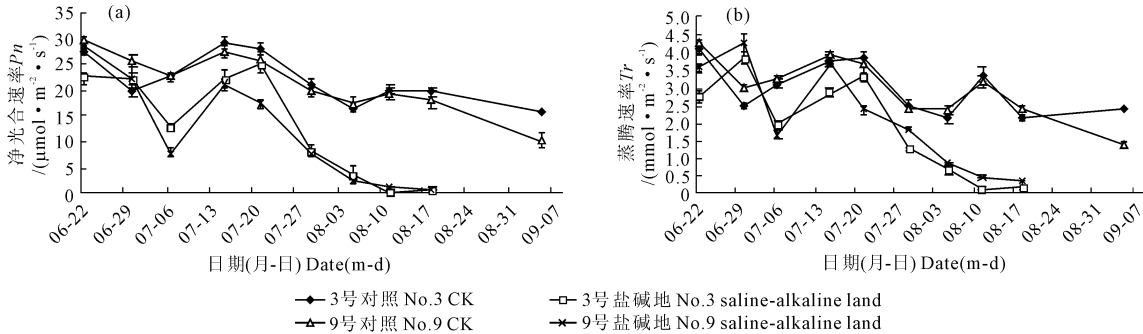


图 2 盐碱地净光合速率和蒸腾速率的变化

Fig.2 Net photosynthetic rate (Pn) and transpiration rate (Tr) of the control and salin-alkaline soil

2.3 蒸腾速率 (Tr) 变化

从图 2b 可以看出,与对照相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 Tr 平均值为 $1.87 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照

下降了 36.6%,新高粱 9 号 Tr 平均值为 $2.07 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照下降了 30.1%。两品种盐碱地与对照间 Tr 均值达极显著差异 ($P < 0.01$)。

盐碱胁迫下,新高粱 3 号、新高粱 9 号在各时期的 T_r 极显著低于对照 ($P < 0.01$),两品种皆在拔节末期达到峰值分别为 $3.82 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $4.23 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其对照均于拔节初期达到峰值,分别为 $4.04 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $4.24 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两品种在盐碱地 T_r 表现规律基本同 P_n 。新高粱 3 号在对照地块及盐碱地的 T_r 均值皆略低于新高粱 9 号。

2.4 气孔导度 (G_s)变化

由图 3a 可以看出,气孔导度的变化趋势与蒸腾速率的变化规律相一致。与对照相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 G_s 平均值为 $58.14 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照下降了 47.5%,新高粱 9 号 G_s 平均值为 $57.71 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照下降了 47.1%。两品种盐碱地与对照间 G_s 均值达极显著差异 ($P < 0.01$)。

盐碱胁迫下,新高粱 3 号、新高粱 9 号除拔节期外在其余各时期 G_s 极显著低于对照 ($P < 0.01$)。新高粱 3 号在抽穗期达到峰值 $118.64 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后迅速降低,至成熟期为 $7.49 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,新高粱 9 号拔节期末期出现小峰值后迅速下降,生育

末期为 $4.96 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,新高粱 3 号在对照地块及盐碱地的 G_s 均值皆略高于新高粱 9 号。

2.5 胞间 CO_2 浓度 (C_i)变化

由图 3b 可以看出,甜高粱叶片 C_i 总体呈上升—下降—上升的趋势,盐碱地后期 C_i 上升幅度较大,成熟期(生育末期) C_i 达到最高。与对照相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 C_i 平均值为 $151.37 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,较对照下降了 13.1%,新高粱 9 号 C_i 平均值为 $162.69 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,较对照下降了 4.7%。两品种盐碱地与对照间 C_i 均值无显著差异 ($P > 0.05$)。

盐碱胁迫后期使两品种叶片 C_i 值迅速变大。对照田新高粱 3 号成熟期 C_i 达到峰值为 $244.01 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,而盐碱地此时 C_i 达到最高值为 $461.10 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$;对照田新高粱 9 号在灌浆期 C_i 达到峰值为 $265.40 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,而盐碱地此时 C_i 达到最高值为 $342.63 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。方差分析表明,新高粱 3 号、新高粱 9 号在 7 月 29 日前对照田的 C_i 极显著高于盐碱地 ($P < 0.01$),7 月 29 日后 C_i 无显著差异 ($P > 0.05$)。

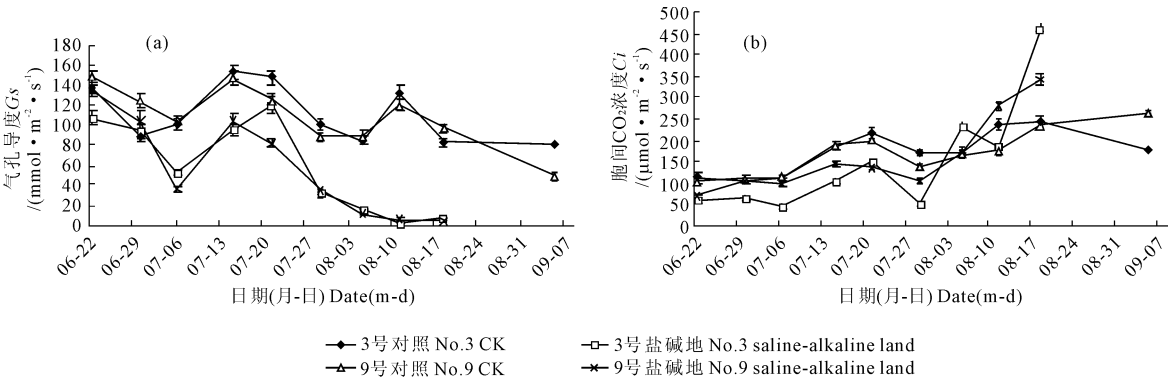


图 3 盐碱地气孔导度和胞间 CO_2 浓度的变化

Fig.3 Stomatal conductance (G_s) and intercellular CO_2 concentration(C_i) of the control and saline-alkaline soil

2.6 水分利用效率 (WUE)变化

由图 4a 可知,与对照田相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 WUE 平均值 $6.19 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,较对照下降了 18.1%;新高粱 9 号 WUE 平均值为 $4.84 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,较对照下降了 34.5%。新高粱 3 号的平均 WUE 高于新高粱 9 号。两品种盐碱地与对照间 WUE 均值达显著差异 ($P < 0.05$)。

盐碱胁迫下,新高粱 3 号、新高粱 9 号拔节期 WUE 达最高,分别为 $8.24 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 和 $8.03 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,对照田新高粱 3 号灌浆期 WUE 最高为 $9.22 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,新高粱 9 号在挑旗期的 WUE 最高为 $8.31 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。方差分析表明,新高粱 3 号除拔节(06-22)、抽穗(07-21)外,其它时期对照田的 WUE 极显著高于盐碱地 ($P < 0.01$),新高粱 9

号除拔节末期(07-21)外,其余各时期对照田的 WUE 极显著高于盐碱地 ($P < 0.01$)。

2.7 叶片叶绿素 SPAD 值变化

由图 4b 可知,与对照田相比,盐碱条件下,新高粱 3 号 $SPAD$ 平均值 30.97,较对照下降了 32.7%;新高粱 9 号 $SPAD$ 平均值为 20.92,较对照下降了 47.3%。新高粱 3 号的平均 $SPAD$ 值高于新高粱 9 号。两品种盐碱地与对照间 $SPAD$ 均值达显著差异 ($P < 0.05$)。

盐碱胁迫使甜高粱叶片 $SPAD$ 峰值提前,新高粱 3 号 $SPAD$ 值在拔节后期剧增达最高为 49.58,对照田在开花期(07-28)达到最高为 66.51;新高粱 9 号盐碱地拔节期 $SPAD$ 值最高为 26.13,对照田在挑旗期 $SPAD$ 值最高为 61.66。方差分析表明,新高粱

3号除拔节期(07-06)外,其它时期对照田的 *SPAD* 极显著高于盐碱地 ($P < 0.01$),新高粱 9 号在拔节

期(07-15 日)后,对照田的 *SPAD* 显著高于盐碱地 ($P < 0.05$)。

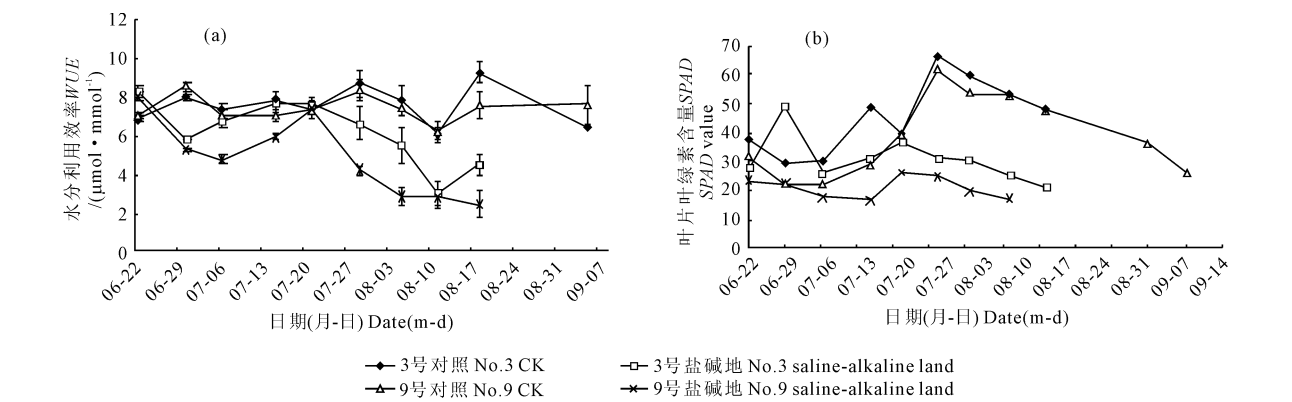


图 4 盐碱地叶片水分利用效率和叶绿素含量的变化

Fig.4 Leaf water use efficiency(*WUE*) and *SPAD* value of the control and saline-alkaline soil

2.8 物候期及产量等农艺性状变化

早熟品种新高粱 3 号在盐碱地出苗、分蘖、拔节、挑旗至灌浆期,每个生育时期都滞后于对照田 2 ~ 10 d(见表 2),成熟期却提前 9 d;晚熟品种新高粱 9 号在盐碱地只生长到拔节未抽穗即枯死。盐碱胁迫造成甜高粱发育迟缓,抑制甜高粱组织和器官的生长和分化,使植物的发育进程提前。盐碱地新高

粱 3 号、新高粱 9 号在生物产量、含糖锤度、株高、茎粗等农艺性状方面极显著低于对照田(见表 3),两品种盐碱地的生物产量分别低于对照田 57.8%和 76.5%,含糖锤度分别低于对照田 38.5%和 100.0%,盐碱胁迫对甜高粱植株含糖量的积累产生较大的影响。

表 2 盐碱地甜高粱物候期(月-日)

Table 2 The phenological period of two sweet sorghums in saline-alkaline soil (m-d)

品种名称 Cultivar	处理 Treatment	播种期 Sowing	出苗期 Seedling	分蘖期 Tillering	拔节期 Elongation	挑旗期 Flag leaf stage	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	灌浆期 Grain filling	成熟期 Maturity
新高粱 3 号 Xingao-liang 3	对照(CK) Control	05-03	05-09	05-19	06-14	07-13	07-21	07-26	08-01	08-25
	盐碱地 Saline-alkaline soil	05-03	05-11	05-29	06-21	07-20	07-28	08-03	08-07	08-18
新高粱 9 号 Xingao-liang 9	对照(CK) Control	05-03	05-09	05-19	06-18	08-05	08-10	08-15	08-18	09-14
	盐碱地 Saline-alkaline soil	05-03	05-11	05-29	06-25	无	无	无	无	无

2.9 净光合速率与影响因子的相关分析

从表 4 可见,两种土地类型下两个品种的 *Pn* 及其影响因子相关性不一致,对照田条件下,新高粱 3 号、新高粱 9 号的 *Pn* 与 *Gs*、*PAR*、*Ta* 达到了极显著相关,新高粱 3 号的 *Pn* 和 *Tr* 达到显著相关;盐碱条件下,两品种的 *Pn* 与 *PAR*、*Ta*、*Ca* 极显著和显著相关,与其它因子间相关不显著。

3 讨论

盐分对植物生长的抑制机理是一个相当复杂的问题。一般而言,盐胁迫引起的植株生长受抑是一

系列生理反应综合作用的结果,其中包括水分状况、离子平衡、气孔运动、光合效率以及碳分配和利用等的改变^[20]。光合作用是植物生长发育的基础,它为植物提供丰富的物质和能量,植物的生长往往依赖于光合速率的大小。盐胁迫既可以直接影响植物生长,又可以通过抑制为生长提供物质基础的光合作用而间接影响生长,且浓度越大,作用时间越长越明显,但对盐胁迫下植物光合速率下降的原因至今还未形成统一认识^[21]。本研究结果显示,盐碱地条件下,净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*)、水分利用效率(*WUE*)、叶绿素 *SPAD* 值的平均

值均极显著低于对照田,生育后期更为显著,这可能是盐碱胁迫抑制了甜高粱的光合作用,降低叶片水分利用效率和叶绿素值,引起甜高粱植株体内发生代谢紊乱,从而影响了甜高粱正常生长发育,使得其在盐碱地的生物产量水平低下。

表 3 盐碱地甜高粱农艺性状
Table 3 The agronomic traits of two sweet sorghums in saline-alkaline soil

品种名称 Cultivar	处理 Treatment	生育期 Growth period /d	生物产量 Biomass yield /(kg·666.7m ⁻²)	含糖锤度 Sap brix /(°)	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	绿叶数 Green leaves /(No.)
新高粱 3 号 Xingaoiliang 3	对照(CK) Control	108	3033.5B	23.8B	236.7B	29.3A	17.7B
	盐碱地 Saline-alkaline land	99	1281.6C	14.63C	142.0C	22.3C	15.0C
	与 CK ± %		- 57.8	- 38.5	- 40.0	- 23.9	- 15.1
新高粱 9 号 Xingaoiliang 9	对照(CK) Control	128	4222.4A	24.9A	340.0A	27.8B	19.7A
	盐碱地 Saline-alkaline land	拔节未抽穗 Jointing without heading	992.6D	0D	88D	22.5C	15C
	与 CK ± %		- 76.5	- 100.0	- 74.1	- 19.1	- 23.9

注:同列数据后标不同大写字母者表示在 1% 水平下差异显著。
Note: Different capital letter in the same column indicate significant difference at 1% level.

表 4 盐碱地甜高粱品种净光合速率与影响因子的相关系数
Table 4 Correlation coefficients of *Pn* and influencing factors of two sweet sorghums in saline-alkaline soil

因子 Factors	新高粱 3 号 Xingaoiliang 3		新高粱 9 号 Xingaoiliang 9	
	对照 Control	盐碱地 Saline-alkaline land	对照 Control	盐碱地 Saline-alkaline land
<i>Tr</i> (<i>X</i> ₁)	0.677 *	- 0.203	0.519	- 0.008
<i>Gs</i> (<i>X</i> ₂)	0.830 * *	0.166	0.894 * *	- 0.218
<i>Gi</i> (<i>X</i> ₃)	- 0.113	- 0.483	- 0.164	- 0.689
<i>WUE</i> (<i>X</i> ₄)	- 0.311	0.455	- 0.412	0.641
<i>PAR</i> (<i>X</i> ₅)	0.889 * *	0.974 * *	0.911 * *	0.951 * *
<i>Ta</i> (<i>X</i> ₆)	0.863 * *	0.995 * *	0.893 * *	0.999 * *
<i>RH</i> (<i>X</i> ₇)	- 0.055	- 0.605	- 0.396	- 0.696
<i>Ca</i> (<i>X</i> ₈)	- 0.252	0.821 *	- 0.049	0.912 * *

一般认为,逆境胁迫下,引起植物叶片光合速率降低的植物自身因素主要有气孔的部分关闭导致的气孔限制和叶肉细胞光合活性下降导致的非气孔限制两类。本研究结果表明,在盐碱地条件下,甜高粱叶片的 *Pn*、*Tr*、*Gs* 三者变化曲线基本一致,为双峰曲线,即在拔节、挑旗期分别出现两个峰值后,随生育时期不断推进,三者逐步下降,之后逐步趋于零,基本呈上升—下降—上升—下降规律。但是 *Ci* 呈先降低后升高的趋势,基本为上升—下降—上升规律,与刘俊英^[22]在胶东对卫矛的研究结果一致。根据 Farquhar 等^[23]提出的观点及研究结果显示,甜高粱受盐碱胁迫净光合速率的下降可分为两个时期,即在抽穗前,光合速率下降伴随着 *Gs* 和 *Ci* 的降低,

此时 *Pn* 下降主要原因在于气孔限制;随着盐胁迫的持续,*Pn* 和 *Gs* 进一步下降,而 *Ci* 上升,使非气孔因素成为限制光合作用的主要因素。这是由于盐胁迫初期主要是渗透胁迫作用,叶片气孔收缩,气孔导度降低,从而限制了 CO₂ 向叶绿体的输送,导致光合受阻;而在胁迫后期,虽然气孔导度继续平缓下降,但胞间 CO₂ 浓度转向升高,此时净光合速率继续下降则是由于非气孔因素所引起,叶肉因素成为主要限制因素。

植物抗盐性评价的可靠指标至今还没有被确定,有人利用植物质膜透性变化作为抗盐性指标,有人利用植物体含盐量作为指标,也有人利用植物在不同含盐量土壤中的存活情况作为指标^[24]。植物对盐胁迫的反应是一个整体的植株反应,即使是一个最重要的生理过程如拒吸过程也不能单独决定植株的表现,因此,必须采用一系列的综合指标来反映植物的抗性。目前主要有生理和形态两类指标,将二者有机结合可以有效地评估植物的抗盐性。本试验在全盐含量 0.46% 的田间土壤条件下,测定两品种光合生理指标及成熟度、生物产量、含糖锤度、株高、茎粗等农艺性状,得到新高粱 3 号耐盐碱能力大于新高粱 9 号的结论。但是同样两个品种,在室内盆栽实验通过不同浓度 NaCl 胁迫,根据幼苗叶片叶绿素含量及丙二醛的比较得出,新高粱 9 号(T601)耐盐能力大于新高粱 3 号(XT-2)的结论^[15]。可以说,幼苗的耐盐能力与全生育不一致,幼苗耐盐能力强的品种在全生育期并不一定强,所以,还需要研究苗期耐盐碱性与全生育期耐盐碱性的相关性,使得

快速简便的苗期测定能够真正应用到生产实践。

4 结 论

中度盐碱地条件下,甜高粱品种新高粱 3 号、新高粱 9 号生育期内净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用效率、叶片叶绿素 *SPAD* 值的均值极显著或显著下降,胞间 CO₂ 浓度 (*C_i*) 均值下降但未达到显著水平。甜高粱受盐碱胁迫净光合速率的下降原因抽穗前主要为气孔因素,抽穗后主要为非气孔因素。盐碱胁迫抑制了甜高粱的光合作用,降低叶片水分利用效率和叶绿素值,引起甜高粱植株体内发生代谢紊乱,造成甜高粱发育迟缓,抑制甜高粱组织和器官的生长和分化,从而影响了甜高粱正常生长发育和含糖量的积累,使得其在盐碱地的生物产量和植株含糖锤度极显著低于正常地。通过对两品种光合生理指标、成熟度、生物产量、含糖锤度、株高、茎粗等农艺性状综合考察,得到新高粱 3 号耐盐碱能力大于新高粱 9 号的结论。在西北中度盐碱田种植非粮生物质能源作物甜高粱时,除选择合适的耐盐碱品种外,还应考虑种植效益和注重土地质量保护等生态效益。

参 考 文 献:

[1] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. *Plant Cell Environ*, 2002, 25: 239-250.

[2] Qiu Huangang, Huang Jikun, Yang Jun, et al. Bioethanol development in China and the potential impacts on its agricultural economy [J]. *Appl Energ*, 2010, 87: 76-83.

[3] 谢光辉, 庄会永, 危文亮, 等. 非粮能源植物: 生产原理和边际地栽培[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.

[4] Qiu Huangang, Sun Lixin, Huang Jikun, et al. Liquid bifuels in China: Current status, government policies, and future opportunities and challenges[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2012, 16(5): 3095-3104.

[5] Zhao Yali, Dolat A, Steinberger Y, et al. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel [J]. *Field Crop Res*, 2009, 111(1-2): 55-64.

[6] Zelitch I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield[J]. *Bio Science*, 1982, 32: 796-802.

[7] Fageria N K. Maximizing Crop Yields[M]. USA: Marcel Dekker, Inc., 1992: 55-63.

[8] 徐世昌, 戴俊英, 沈秀瑛, 等. 水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J]. *作物学报*, 1995, 21(3): 356-363.

[9] 闫 丽. 高粱耐盐碱种质资源筛选及木质素合成相关基因鉴定 [D]. 济南: 山东农业大学, 2011.

[10] 孙 璐. 高粱耐盐品种筛选及耐盐机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.

[11] 籍贵苏, 杜瑞恒, 刘国庆, 等. 高粱耐盐性评价方法研究及耐盐碱资源的筛选[J]. *植物遗传资源学报*, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20121214.1733.028.html>, 2012-12-14.

[12] 王秀玲, 程 序, 李桂英. 甜高粱耐盐材料的筛选及芽苗期耐盐性相关分析[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(6): 1239-1244.

[13] 戴凌燕. 甜高粱苗期对苏打盐碱胁迫的适应性机制及差异基因表达分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012: 53-55.

[14] 贝益临, 张 欣, 魏玉清. 盐碱胁迫对 M-81E 甜高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(2): 45-49.

[15] 吐尔逊·吐尔洪, 再吐尼古丽·库尔班, 阿扎提·阿布都古力. NaCl 胁迫下 3 个甜高粱品种生理指标的比较研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(3): 60-65.

[16] 葛江丽, 石 雷, 谷卫彬, 等. 盐胁迫条件下甜高粱幼苗的光合特性及光系统 II 功能调节[J]. *作物学报*, 2007, 33(8): 1272-1278.

[17] 再吐尼古丽·库尔班, 朱 敏, 冯国郡, 等. 不同盐碱地对甜高粱农艺性状的影响[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(7): 1244-1248.

[18] 再吐尼古丽·库尔班, 吐尔逊·吐尔洪, 阿扎提·阿布都古力. 盐碱地对甜高粱秸秆产量与含糖锤度的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(9): 109-113.

[19] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 259-274.

[20] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes[J]. *Anm Rev Plant Physiology*, 1980, 31: 149-190.

[21] 郭书奎, 赵可夫. NaCl 胁迫抑制玉米幼苗光合作用的可能机理[J]. *植物生理学报*, 2001, 27(6): 461-466.

[22] 刘俊英, 姚延椿. 不同盐处理对胶东卫矛光合作用的影响[J]. *山西农业科学*, 2010, 38(2): 21-25.

[23] Farquhar G D, Caemmerer S Von, Berry J A. A biochemical model of photosynthet CO₂ assimilation in leaves of C₃ species[J]. *Planta*, 1980, 149: 78-90.

[24] 马建华, 郑海雷, 赵中秋, 等. 植物抗盐机理研究进展[J]. *生命科学研究*, 2001, 5(3): 175-179, 226.