

盖玉红,牛 陆,董宝池,等. 不同浓度盐、碱胁迫对野生大豆光合特性和生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):89-93.

不同浓度盐、碱胁迫对野生大豆光合特性和生理生化特性的影响

盖玉红¹,牛 陆²,董宝池³,魏 健⁴

(1. 吉林农业大学农学院,吉林长春 130118; 2. 东北师范大学,吉林长春 130024;

3. 吉林省农业科学院,吉林长春 130033; 4. 长春师范大学生命科学学院,吉林长春 130032)

摘要:研究了盐(NaCl)、碱(NaHCO_3 与 Na_2CO_3 按质量比9:1混合而成)胁迫对辉南野生大豆(盐敏感性)及通榆野生大豆(耐盐型)植株生物量积累、光合特性及某些生理生化特性的影响。结果表明,在盐、碱胁迫条件下,2种野生大豆的生物量均呈下降趋势,叶片的 P_n 、 G_s 均呈明显下降趋势。盐胁迫条件下,2种野生大豆的胞间 CO_2 浓度(C_i)呈上升趋势,气孔限制百分率(L_s)呈下降趋势和表观叶肉导度(AMC)呈下降趋势。碱胁迫下,2种野生大豆叶片的 G_s 、 T_r 变化趋势与 P_n 变化趋势基本一致;盐敏感型大豆的 C_i 随碱浓度升高呈现先增加后降低趋势, L_s 呈先降低后增加趋势;耐盐型大豆的 C_i 随碱浓度升高而升高, L_s 呈下降趋势;2种野生大豆的AMC都随碱浓度的增大呈先降后升再下降趋势。盐、碱胁迫下,盐敏感型大豆可溶性糖含量下降明显,而耐盐型大豆变化不大;脯氨酸含量2种野生大豆均积累明显,且盐敏感型大豆积累量高于耐盐型大豆。

关键词:野生大豆;盐碱胁迫;生物量;光合作用;可溶性糖;脯氨酸

中图分类号: S565.101;Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0089-04

土壤盐渍化威胁着我国农业的发展,我国盐渍化土地分布广泛。目前,提高栽培大豆耐盐能力已成为育种工作者的重要目标^[1]。但亲本遗传基础狭窄、杂交后代主要经济性状变异幅度较小、难以产生新的突破品种,是当前栽培大豆耐盐育种的主要问题。野生大豆(*Glycine soja* L.)是栽培大豆的近缘祖先种,对盐渍化环境具有很强的抗逆力及广泛的适应性。由于野生大豆与栽培大豆类群间遗传信息交流容易,利用野生大豆来增强栽培大豆的耐盐性或直接用于治理盐渍土具有良好的应用前景。近年来,许多学者相继开展有关野生大豆耐盐性研究,已取得明显进展。陆静梅等在野生大豆中发现了盐腺,说明生态环境直接影响大豆耐盐结构的建成^[2]。评定野生大豆耐盐能力指标包括发芽势、发芽率、出苗率、耐盐指数及某些生理生化指标,其中使用最多的是发芽率、耐盐指数^[3-4]。也有学者认为,耐盐指数并不适合用于评价野生大豆的耐盐性^[5]。McKay等研究表明,可以用细胞电解质渗出率来表示细胞膜透性,反映植物细胞膜在各种逆境条件下的透性变化及细胞膜受损程度^[6]。关于盐胁迫下植物体内抗氧化物质组成的研究较多^[7-9]。Durgaprasad等认为,耐盐大豆品种一般具有较高的蛋白酶活性、氨基酸及脯氨酸含量^[10]。脯氨酸含量随着盐胁迫压力的增大而逐渐增大,同时可溶性糖含量也逐渐增大^[11]。可溶性糖被认为是很多

非盐生植物的主要渗透调节剂,对细胞膜、原生质胶体有稳定作用,还能在细胞内无机离子含量高时起保护酶类的作用^[12-13]。Ott等认为,盐胁迫下植物生长受到抑制,植物叶片内可溶性糖浓度增加,并反馈性地抑制光合作用^[14]。研究表明,进入栽培大豆木质部液流中的 Na^+ 在向叶片运输过程中可被木质部薄壁细胞重新吸收,跨膜横向运输至韧皮部,再运送到根系,但对 Cl^- 无此作用,所以茎基部 Na^+ 含量显著高于叶片^[15]。Kingsbury等研究表明,1.1 MPa等渗胁迫下,单 Na^+ 、单 Cl^- 、 NaCl 对不同大豆品种发芽率均有明显抑制作用,抑制作用由大到小依次为 NaCl 处理>单 Cl^- 处理>单 Na^+ 处理^[16]。於丙军等从离子角度探讨了野生大豆及栽培大豆的耐盐性^[17]。本研究探讨不同浓度盐碱胁迫下,野生大豆的光合作用及部分生理生化指标,旨在为野生大豆的耐盐碱机理研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

辉南野生大豆(盐敏感型)及通榆野生大豆(耐盐型)均由吉林省农业科学院提供,生育期145 d左右。挑选饱满的种子于5月下旬播种于直径为25 cm的盛有洗净细沙的塑料花盆内,播种前浸种5 d,用刀片划破种皮后播种。出苗后每天用Hoagland营养液浇灌1次,每盆定苗9株。整个试验在人工温棚内进行,棚内白天温度(26 ± 1.5) $^{\circ}\text{C}$,夜间温度(19 ± 1.5) $^{\circ}\text{C}$,每天光照15 h。

1.2 试验设计

将中性盐 NaCl 作为盐胁迫处理液。盐胁迫设60、120 mmol/L 2个浓度处理,碱胁迫(NaHCO_3 与 Na_2CO_3 按质量比9:1混合而成)设30、60、90 mmol/L 3个浓度,待第5片复叶完全展开时,每个品种选取长势均匀的大豆苗9盆,分成

收稿日期:2013-12-05

基金项目:吉林省教育厅项目(编号:2012135)。

作者简介:盖玉红(1980—),女,吉林长春人,博士,实验师,主要从事植物生理与遗传研究,Tel: (0431) 84532849; E-mail: gyh0214@qq.com。

通信作者:魏 健,博士,讲师,主要从事植物遗传研究。E-mail: 148050459@qq.com。

3 组。1 组作为对照组,其余 2 组为不同处理组,每处理重复 3 次。每盆浇灌 1 L 营养液,每天 08:00 分 3 次透灌,对照组只浇灌营养液,处理 10 d。

1.3 方法

1.3.1 根、茎叶干质量 最后 1 次处理的第 2 天早晨取样,将每盆大豆用自来水冲洗干净后再用蒸馏水冲洗,先测定鲜质量;将根与茎叶分开后,立即在 105 ℃ 下烘干 15 min 杀青,然后在 80 ℃ 烘箱中烘至恒重,称重。

1.3.2 光合特性 采用固定红蓝光源进行试验,光照强度为 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。采用 LI-6400 型便携式光合作用测定系统于处理第 10 天 14:00—16:00 进行测定,测定部位为植株上数第 2 片复叶三出复叶中间的小叶,测定叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)。水分利用效率(WUE)为 P_n 与 T_r 的比值(P_n/T_r)。表观叶肉导度(AMC)为 P_n 与 C_i 的比值,用来估测 RuBPCase 的活性。气孔限制百分率(L_s)计算公式如下:

$$L_s = (1 - C_i/C_a) \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_a 为环境 CO_2 浓度,即仪器进气口的 CO_2 浓度。

1.3.3 叶绿素含量 称取新鲜叶片 0.1~0.15 g,剪碎后放入离心管中,随后加入 10 mL 80% 丙酮与无水乙醇等体积混液。黑暗处放置 48 h 以上,直到叶绿素提取完全。利用紫外分光光度计测定 663、645 nm 波长下的 D 值,叶绿素总量计算公式如下:

$$C_T = 20.29 \times D_{645 \text{ nm}} + 8.05 \times D_{663 \text{ nm}}$$

式中: C_T 代表叶绿素总量。

1.3.4 渗透性调节物质含量的测定 采用磺基水杨酸法^[18]测定脯氨酸含量,采用蒽酮比色法^[19]测定可溶性糖含量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 盐、碱胁迫对大豆生物量的影响

由图 1 可以看出,在盐胁迫下,随着胁迫浓度增大,2 种野生大豆的鲜质量、干质量均呈下降趋势。盐敏感型大豆根鲜质量在 60、120 mmol/L 盐浓度下分别下降了 32.26%、48.85%;耐盐型大豆根鲜质量分别下降了 17.04%、34.08%。与对照相比,2 种野生大豆的地上部鲜质量在 60 mmol/L 盐浓度下基本没有明显变化;在 120 mmol/L 浓度下,盐敏感型大豆地上部鲜质量下降了 43.93%,耐盐型大豆下降了 20.40%。盐敏感型大豆的干质量下降幅度大于耐盐型大豆。与对照相比,盐敏感型大豆在 60、120 mmol/L 浓度盐胁迫下根干质量分别下降了 23.17%、48.78%,地上部干质量分别下降了 14.63%、46.88%;在 60、120 mmol/L 浓度下,耐盐型大豆根干质量分别下降了 17.05%、33.64%,地上部干质量分别下降了 13.16%、28.95%。在 90 mmol/L 碱胁迫浓度下,盐敏感型大豆根鲜质量、根干质量分别下降了 33.18%、57.32%,地上部鲜质量、干质量分别下降了 45.19%、58.27%;耐盐型大豆根鲜质量、根干质量分别下降了 29.22%、22.24%,地上部鲜质量、干质量分别下降了 22.97%、18.09%,说明耐盐型大豆耐碱性较强。

2.2 盐、碱胁迫对大豆叶片光合特性的影响

从表 1 可以看出,2 种野生大豆的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)在盐胁迫下均显著下降。耐盐型大豆的水分利用效率高干盐敏感型大豆。盐胁迫条件下,2 种野生大豆的胞间 CO_2 浓度(C_i)呈上升趋势,气孔限制百分率(L_s)呈下降趋势,说明 P_n 下降的原因并非来自气孔的限制作用。表观叶肉导度(AMC)均呈下降趋势。

从表 2 可以看出,碱胁迫下,30 mmol/L 浓度下盐敏感型大豆叶片 P_n 与对照相比有所下降,但下降幅度较小,耐盐型大豆叶片 P_n 与对照相比差别不大。不同浓度下,2 种野生大豆叶片的 G_s 、 T_r 变化趋势与 P_n 变化趋势基本一致。盐敏感型大豆的 C_i 随碱浓度升高呈现先增加后降低趋势, L_s 呈先降低后增加趋势。耐盐型大豆的 C_i 随碱浓度升高而升高, L_s 呈下降趋势,说明 P_n 下降的原因并非来自气孔的限制性作用。2 种野生大豆的 AMC 都随碱浓度的增大呈先降后升再下降趋势。

2.3 盐、碱胁迫对野生大豆可溶性糖含量、脯氨酸含量的影响

由图 2 可以看出,盐敏感型大豆在 60 mmol/L 盐浓度胁迫下可溶性糖含量变化较小,在 120 mmol/L 浓度下比对照下降了 44.72% ($P < 0.05$)。随着盐浓度增大,耐盐型大豆的可溶性糖含量变化不大。盐敏感型大豆脯氨酸含量明显高于耐盐型大豆。碱胁迫下,盐敏感型大豆可溶性糖含量下降,低碱浓度下,降幅较小,90 mmol/L 浓度下比对照下降了 33.84%。耐盐型大豆可溶性糖含量随碱浓度增大呈上升趋势。30、60 mmol/L 碱胁迫下,2 种野生大豆的脯氨酸含量变化不大,90 mmol/L 浓度下增加幅度较大。

2.4 盐、碱胁迫浓度与大豆生物量、光合指标及渗透调节物质的方差比较分析

由表 3 可以看出,不同盐、碱浓度对盐敏感型大豆叶片的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 的影响极显著。不同盐、碱浓度对耐盐型大豆叶片的 P_n 、 C_i 、 T_r 的影响极显著,对 G_s 的影响显著。从表 4 可以看出,盐、碱胁迫浓度对盐敏感型大豆的 4 项指标的影响均极显著。盐胁迫浓度对耐盐型大豆的根干质量、地上部干质量、脯氨酸含量的影响极显著,对可溶性糖含量的影响显著。碱胁迫浓度对盐敏感型大豆这 4 项指标的影响极显著 ($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

本研究表明,在盐、碱胁迫条件下,2 种野生大豆的生物量均呈下降趋势,这与前人研究结果^[20-21]一致。其中,以盐敏感大豆根系及地上部生物量下降最为显著,在盐、碱胁迫下,耐盐大豆能保持一定量的生物量,说明在盐、碱胁迫下耐盐大豆仍能吸收利用水分、矿质元素、有机物。在盐、碱胁迫下,2 种野生大豆叶片的 P_n 、 G_s 均呈明显下降趋势。盐胁迫条件下,2 种野生大豆品种的胞间 CO_2 浓度(C_i)呈上升趋势,气孔限制百分率(L_s)呈下降趋势,表观叶肉导度(AMC)呈下降趋势。碱胁迫下,2 种野生大豆叶片的 G_s 、 T_r 变化趋势与 P_n 变化趋势基本一致。盐敏感型大豆的 C_i 随碱浓度升高呈现先增加后降低趋势, L_s 呈先降低后增加趋势。耐盐型大豆的 C_i 随碱浓度升高而升高, L_s 呈下降趋势,说明 P_n 下降的原因并非来自气孔的限制性作用。2 种野生大豆的 AMC 都随

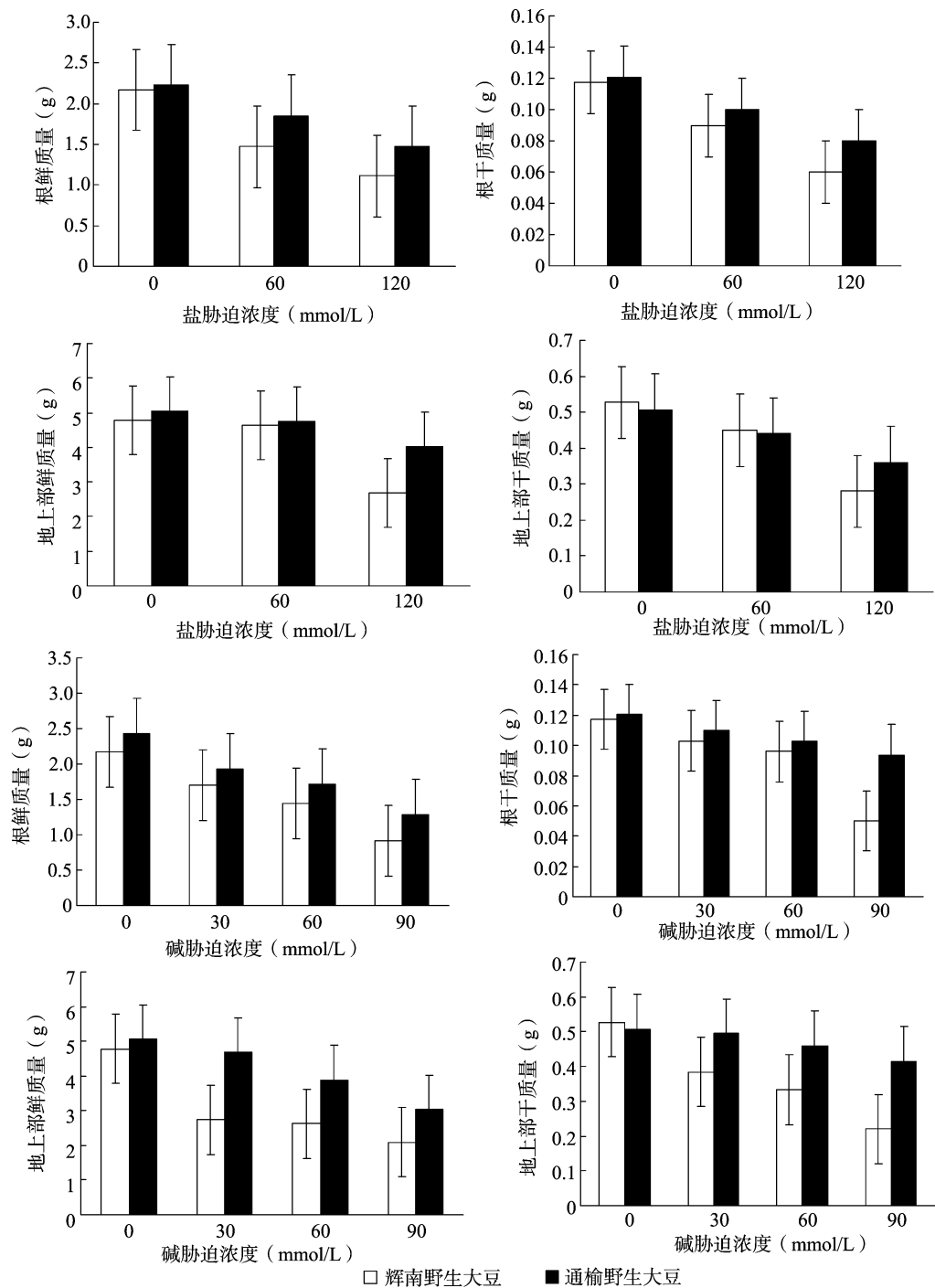


图1 盐、碱胁迫下不同野生大豆的生物量

表 1 盐胁迫对不同野生大豆叶片光合特性的影响

名称	盐浓度 (mmol/L)	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	L_s (%)	AMC [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
辉南野生大豆	0 (CK)	9.284	0.244	4.53	2.051	186.84	46.7	0.050
	60	6.175	0.123	3.68	1.680	237.68	32.1	0.026
	120	1.924	0.061	1.34	1.441	275.36	21.4	0.007
通榆野生大豆	0 (CK)	9.840	0.260	4.87	2.022	203.04	42.0	0.048
	60	7.248	0.160	3.69	1.964	246.86	29.5	0.029
	120	4.311	0.116	2.15	2.003	264.70	24.4	0.016

碱浓度的增大呈先降后升再下降趋势。虽然在盐、碱胁迫下，2 种野生大豆的 T_r 、WUE 均呈下降趋势，但耐盐大豆的 WUE 在盐逆境下高于盐敏感型大豆，说明耐盐大豆在盐逆境下对水分有较好的调节能力。植物在盐渍逆境下，细胞会被动地

表 2 碱胁迫对不同大豆品种叶片光合特性的影响

品种	碱浓度 (mmol/L)	P_n	G_s	T_r	WUE	C_i	L_s	AMC
		[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	(%)	[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
辉南	0 (CK)	9.284	0.244	4.528	2.051	186.84	46.7	0.050
	30	7.418	0.180	3.966	1.870	204.72	41.6	0.036
	60	9.209	0.260	5.136	1.793	215.96	38.3	0.043
	90	1.655	0.027	0.653	2.534	134.86	61.5	0.012
通榆野生大豆	0 (CK)	9.840	0.260	4.868	2.022	203.04	42.0	0.048
	30	9.490	0.235	4.666	2.034	212.12	39.4	0.045
	60	10.089	0.273	5.737	1.759	186.00	46.9	0.054
	90	5.418	0.146	2.316	2.340	236.08	32.6	0.023

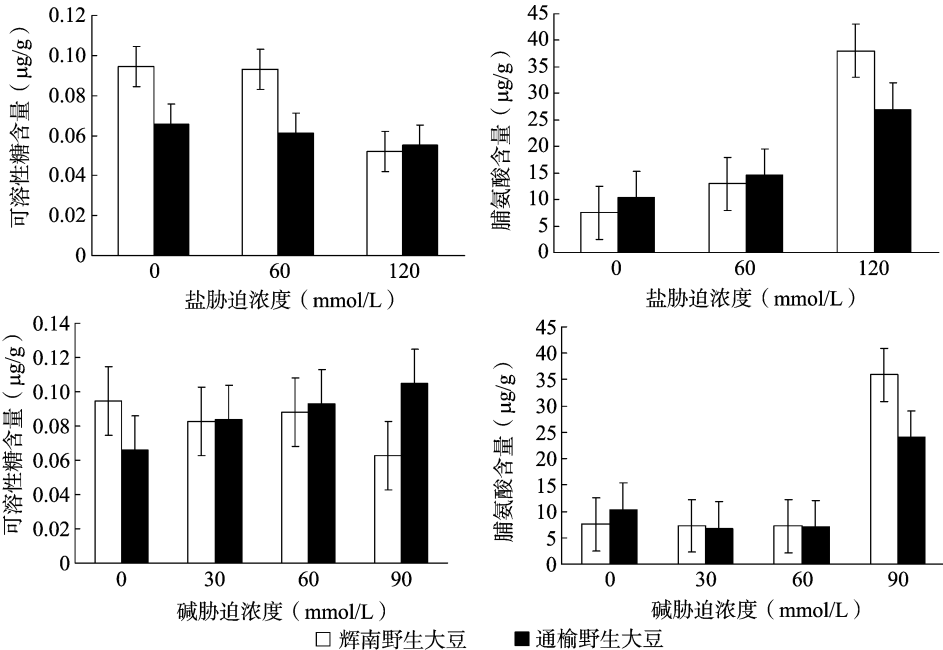


图2 盐、碱胁迫对不同野生大豆叶片渗透性调节物质含量的影响

表 3 盐、碱胁迫浓度与不同大豆品种光合指标方差分析

处理	品种	P_n	G_s	C_i	T_r
盐胁迫	辉南	211.774 **	23.811 **	43.932 **	83.154 **
	通榆	12.197 **	4.854 *	28.485 **	11.947 **
碱胁迫	辉南	75.667 **	29.292 **	5.947 **	80.336
	通榆	7.959 **	3.517 *	8.507 **	15.095 **

表 4 盐、碱胁迫浓度与不同大豆品种干质量、可溶性糖含量、脯氨酸含量方差分析

处理	品种	根干质量	地上部干质量	可溶性糖含量	脯氨酸含量
盐胁迫	辉南	57.801 **	132.555 **	415.682 **	7 786.403 **
	通榆	7.570 **	49.853 **	5.880 *	2 478.293 **
碱胁迫	辉南	70.143 **	162.066 **	40.528 **	12 238.550 **
	通榆	6.072 **	16.989 **	11.992 **	5 653.461 **

丢失一些水分,逆境会诱导参与渗透调节基因的表达,形成一些渗透调节物质,提高细胞内溶质浓度,保证植株正常生长。可溶性糖、脯氨酸是最有效的渗透调节物质之一,在多种逆境下,植物体内都会积累大量的脯氨酸来帮助植物度过难关。

参考文献:

[1]常汝镇,陈一舞,邵桂花,等. 盐对大豆农艺性状及籽粒品质的影响[J]. 大豆科学,1994,13(2):101-105.

[2]陆静梅,刘友良,胡 波,等. 中国野生大豆盐腺的发现[J]. 科学通报,1998,43(19):2074-2078.

[3]朱俊义,杨光宇,赵凤娟,等. 野生大豆抗盐解剖结构研究[J]. 东北师大学报:自然科学版,2003,35(4):105-108.

[4]邵桂花. 大豆种质资源耐盐性田间鉴定方法[J]. 作物杂志,1986(3):36-37.

[5]王洪新,胡志昂,钟 敏,等. 盐渍条件下野大豆群体的遗传分化和生理适应:同工酶和随机扩增多态 DNA 研究[J]. 植物学报,1997,39(1):34-42.

[6]McKay H M, Mason W L. Physiologically indicators of tolerance to cold storage in Sitka spruce and Douglas-fir seedlings[J]. Canadian Journal Forest Research,1991,21(6):890-901.

[7]杨晓英,刘友良,罗庆云,等. 盐胁迫下野生大豆叶片中 Na^+ 、 Cl^- 积累导致活性氧伤害[J]. 大豆科学,2003,22(2):83-87.

[8]付 畅,关 畅,徐 娜. 盐胁迫对野生和栽培大豆中抗氧化酶活性的影响[J]. 大豆科学,2007,26(2):144-148.

[9]於丙军,刘友良. 盐胁迫对一年生盐生野大豆幼苗活性氧代谢的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(1):18-22.

胡法龙,郑桂萍,于洪明,等. 寒地水稻不同群体叶面积指数、干物质质量与产量的关系[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):93-97.

寒地水稻不同群体叶面积指数、干物质质量与产量的关系

胡法龙¹, 郑桂萍¹, 于洪明², 马艳¹, 王声旭¹, 赵洋¹, 蔡永胜¹, 李晓蕾¹

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江大庆 163319; 2. 黑龙江省绥滨农场, 黑龙江绥滨 156203)

摘要:以分蘖力差异较大的水稻品种中龙香 1 号和龙洋 16 为试验材料, 为明确水稻不同群体叶面积指数和干物质质量与产量的关系, 采取裂区设计进行试验研究。结果表明, 中龙香 1 号各时期的叶面积指数和干物质质量与产量均呈负相关, 分蘖期相关系数高于其他时期, 栽培上应以“控”为主; 龙洋 16 与之相反, 均呈正相关, 齐穗期相关系数最大, 栽培上应延长齐穗期的绿叶面积。在供试土壤条件下, 高产群体的最优配置也不同: 中龙香 1 号播量为 90 g/盘时, 插秧密度为 4 苗/穴; 龙洋 16 播量为 90 g/盘时, 插秧密度为 6 苗/穴。因此, 高产栽培要根据品种进行播种量和插秧密度设计。

关键词:水稻; 群体; 叶面积指数; 干物质质量; 产量; 分蘖力; 播种量

中图分类号: S511.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0093-05

叶面积指数(leaf area index, LAI)是水稻群体结构的重要量化指标, 干物质积累是水稻产量的物质基础, 二者对水稻产量的提高起到了至关重要的作用。有关水稻叶面积指数、干物质质量与产量的关系问题国内外许多学者已进行了大量研究。研究表明, 适当增大群体的 LAI 是提高水稻单位面积产量的主要途径之一, 抽穗期适宜的叶面积指数是水稻高产的主要标志, 是协调源库关系和各器官平衡发展的基础^[1-5], 水稻的高产群体必须有一个适宜的最大叶面积指数^[6]; 在水稻

生育期间, 随着密度增加, 单穴干物质的积累逐渐减少^[7]; 并且水稻中后期干物质积累能力在品种间有显著差异, 冠层叶片直立、最适叶面积指数较大的品种有明显的中后期干物质积累优势^[8-14]。已往研究主要针对单一品种或分蘖力相似的品种来进行不同群体的叶面积指数、干物质质量与产量的关系的分析, 而本试验选用分蘖力不同的水稻品种配以相应的种植密度, 研究高产水稻品种叶面积和干物质积累动态, 探讨不同分蘖力水稻叶面积指数、干物质积累量与产量的关系, 旨在为寒地水稻因品种高产栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验田基本情况

试验于 2010 年在黑龙江省虎林市 856 农场农业科技示范园区试验田进行, 供试土壤是草甸白浆土, 2010 年土壤碱解氮含量 243.80 mg/kg, 有效磷含量 29.00 mg/kg, 速效钾含量 194.00 mg/kg, 有效硅含量 103.30 mg/kg, 有机质含量 48.70 mg/kg, 土壤 pH 值 5.58。

1.2 供试品种

供试品种为中龙香 1 号, 主茎 12 张叶品种, 分蘖力较强;

收稿日期: 2013-09-24

基金项目: 黑龙江省科技攻关重点项目(编号: GA10B102); 黑龙江省科技攻关项目(编号: GA09B102-4-*) ; 黑龙江省农垦总局重点科技示范推广项目(编号: HNK10TG-01); 黑龙江省农垦总局科技攻关项目(编号: HNK10A-02-02、HNK10A-01-01-02)。

作者简介: 胡法龙(1987—), 男, 黑龙江佳木斯人, 硕士研究生, 研究方向为水稻产量和品质的生理生态。E-mail: 516942891@qq.com。

通信作者: 郑桂萍, 教授, 博士生导师, 从事作物产量和品质的生理生态研究。E-mail: dqzgp@163.com。

[10] Durgaprasad K M R, Muthukumarasamy M, Ipanneerseivam R. Changes in protein metabolism induced by NaCl salinity in soybean seedlings [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1996, 1(2): 98-101.

[11] 张美云, 钱吉, 钟扬, 等. 野生大豆若干耐盐生理指标的研究[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2002, 41(6): 669-673.

[12] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水胁迫对盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40(1): 56-61.

[13] 霍仕平, 晏庆九, 宋光英, 等. 玉米抗旱鉴定的形态和生理生化指标研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(3): 67-73.

[14] Ott T, Clarke J, Birks K. Regulation of the photosynthetic electron transport chain[J]. Planta, 1999, 209(2): 250-258.

[15] Durand M, Lacan D. Sodium partitioning within the shoot of soybean [J]. Physiologia Plantarum, 1994, 91(1): 65-71.

[16] Kingsbury R W, Epstein E. Salt sensitivity in wheat [J]. Plant Physiology, 1986, 80(3): 651-654.

[17] 於丙军, 罗庆云, 刘友良. NaCl 胁迫下野生和栽培大豆幼苗体内离子的再转运[J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(1): 39-44.

[18] 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯, 1990(4): 62-65.

[19] 石连旋, 胡勇军, 宫亮, 等. 不同盐碱化草甸羊草越冬根茎中可溶性糖和蛋白研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2008, 40(2): 88-92.

[20] Herralde F De, Biel C, Save R, et al. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants[J]. Plant Science, 1998, 139(1): 9-17.

[21] Soussi M, Ocana A, Lluch C. Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49(325): 1329-1337.