

长期盐胁迫对库拉索芦荟(*Aloe vera*) 生长和汁液理化性质的影响*

徐呈祥¹ 郑青松^{2,3} 刘友良[†] 刘兆普²

(1 南京农业大学生命科学学院, 南京 210095)

(2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(3 江苏省作物栽培生理重点实验室, 江苏扬州 225009)

摘要 在温室中砂培条件下研究了 7 叶龄库拉索芦荟(*Aloe vera*) 以含 0、50、100、200 和 400 mmol L⁻¹ NaCl 的 Hoagland 营养液浇灌 120 d 的生长响应及其全叶原液的理化性质。结果表明: 200 mmol L⁻¹ NaCl 处理显著抑制芦荟生长, 使叶片长度、宽度、厚度和重量显著减小, 含水量和叶绿素含量降低, 干枯死亡的叶片数显著增多, 根系周界和根系密集区显著缩小, 单株干重降至对照的 65.02%, 单株鲜重只及对照的 38.32%, 至开花期花萼低矮、细弱, 开花株数明显减少; 100 mmol L⁻¹ NaCl 处理对库拉索芦荟生长的抑制作用显著减轻, 且可正常开花, 花期未见缩短, 但至处理结束时新叶的长度、处理结束时单叶的厚度和鲜重、根系密集区范围以及叶片和全株的鲜重、根系的干重和鲜重均显著小于对照, 而 50 mmol L⁻¹ NaCl 处理与对照无显著性差异。盐胁迫对库拉索芦荟全叶原液出汁率及理化性质的影响与对生长开花的影响相似, 其中 50、100 mmol L⁻¹ NaCl 处理间多数指标值无显著性差异, 与对照相比多数指标值处于有益水平。综合评判: 库拉索芦荟具有咸水微咸水灌溉栽培的潜势。

关键词 芦荟; 砂培; 盐胁迫; 生长响应; 全叶原液

中图分类号 S682 文献标识码 A

我国水资源稀缺, 人均淡水资源正以惊人速度减少, 而咸水微咸水量则不断增长。据统计, 全国微咸水分布面积广、数量大, 如华北平原含盐量 2~5 g L⁻¹ 的微咸水约有 2.2 × 10⁹ m³, 黄河流域的微咸水约有 2.1 × 10⁹ m³, 河北、天津和山东北部每年海水养殖产生的废水约有 6.4 × 10⁹ m³, 合计接近全国年缺水 2.2 × 10¹⁰ m³ 的 1/2, 但目前这类水资源基本上没有得到利用, 浪费严重, 若能加以利用、转化增值将对区域生态经济产生不可估量的效益^[1,2]。芦荟是百合科(Liliaceae) 芦荟属(*Aloe* L.) 多年生常绿肉质草本植物, 包括变种、品种在内全世界有 500 多种, 在医药、食品、日用化工、园林绿化、室内装饰等方面极具价值^[3]。库拉索芦荟(*Aloe vera*) 是重要的医药、食品兼用芦荟, 具降糖、消炎、抗病毒、抗辐射、抗肿瘤、调节免疫功能、吸收有害气体等多种药理功效和临床价值^[3,4], 但国内外对这类植物耐盐性的研究甚少^[5,6]。我们近年来开展了海水兑适当比例

淡水浇灌库拉索芦荟的试验^[4], 并对等渗的水分和盐分胁迫下库拉索芦荟幼苗生长和离子分布的效应进行了研究^[5], 然而这些实验所采用的胁迫时间较短, 缺乏长期盐胁迫下库拉索芦荟生长特性的研究报告, 也未见盐胁迫对其全叶原液理化性质影响的研究。为此, 本文对温室中库拉索芦荟在含盐溶液浇灌下的生长响应和汁液理化性质进行了研究, 以便为利用咸水微咸水灌溉提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及处理

库拉索芦荟(*Aloe vera*) 母株来源于昆明世界园艺博览园, 幼苗以组培方法获得, 在珍珠岩基质上炼苗成活后于 5 月上旬选大小一致的 3 叶龄植株砂培于下部具孔、高度 25 cm、上口直径 20 cm 的塑料盆中, 每盆 1 株, 在温室中以 Hoagland 营养液浇灌栽培至 7 叶龄(8 月中旬), 选择生长一致的幼苗以含 0、50、100、

* 国家“863”项目(2002AA2Z4061)、江苏省重点实验室开放项目(K04009)资助

† 通讯作者, E-mail: liuy20041@yahoo.com.cn, Tel: 025-84395347

作者简介: 徐呈祥(1963~), 男, 博士研究生, 副教授, 从事植物逆境生理教学与研究

收稿日期: 2005-02-21; 收到修改稿日期: 2005-06-30

200 和 400 mmol L⁻¹ NaCl 的 Hoagland 营养液浇灌至当年的 11 月中旬, 每处理 5 株, 重复 3 次, 处理日数 120 d。营养液以蒸馏水配制, 视季节与天气 4~7 d 浇灌 1 次。塑料盆底部放一浅壁托盘, 每次浇灌时使下渗液与浇灌液的盐浓度基本一致。进入 9 月中旬, 揭去温室顶部的遮阳网。10 月中旬后, 调节通风或加温设施, 保持温室夜间温度在 18℃ 以上。

1.2 测量与分析方法

库拉索芦荟叶长生长动态以盐处理时植株最顶端的 2 片叶(其中 1 片为心叶)为观测对象; 叶长用 LOCA204 型钢尺测量, 叶宽(基部)和叶片厚度(中部)用 TRICLE 型游标卡尺测量, 单叶重量用电子天平测量, 测量对象为主茎上长度大于 5 cm 的全部叶片, 于收获后逐叶进行; 根系周界(The boundary of root system)于从盆中起出、未除去石英砂前测量, 根系密集区(The dense radicle zone)于起苗并除去石英砂后测量; 生物量按根、茎、叶 3 种器官分别称重, 基部分生的芽和小苗全部归入叶片计量。鲜样于 105℃ 下杀青 15 min, 在 75℃ 下烘 120~168 h 得干重。叶片含水量用烘干法, 叶绿素用丙酮-乙醇混合液提取^[7]。全叶原汁的制备方法参照中华人民共和国轻工行业标准 QB/T 2489-2000(食品用芦荟)^[8], 用刀片切取芦荟植株中部的适量完整叶片, 洗净、揩干, 用 DS-1 型高速组织捣碎机捣碎 7 min, 3 层纱布过滤 2 次, 以量筒测量滤清液体积, 计算得相应全叶原汁出汁率(Rate of leaf juice)。全叶原汁理化性质测试指标的确定主要参照文献[7], 其中: 旋转粘度(Rotation viscosity)、可溶性固形物含量(Soluble solids content)、相对密度(Relative density)、pH 值、电导率(Electrical conductivity)的测定参照文献[7, 8]的方法, 分别使用 NDF-1 型旋转式粘度计、2WA-J 型折射仪、20℃ 附温比重瓶、pH b-4 型酸度计、DDS-11A 型电导率仪测定。汁液的吸光度(Absorbance)以 10% 全叶原汁为试样, 以 752 型分光光度计测定^[8]; 灰分率(Ash percentage)用干灰化法, 以灰分占汁液的干物质重量百分数表示^[9]; 总糖含量(Total carbohydrate content)和多糖含量(Polysaccharide content)的测定参照文献[10, 11]。测试汁液色素稳定性(Pigment stability)所用的光源为 12 V 即开型 50 W 紫外灯。

2 结果与分析

2.1 新叶生长动态

新叶生长速率减慢是植物对盐渍响应最敏感的

生理过程^[12, 13]。芦荟叶长生长的关键期约为 60 d, 但不同程度盐胁迫下的生长动态不同。如图 1 所示, 以含 400 mmol L⁻¹ NaCl 处理 15 d, 芦荟顶生叶的长度明显下降, 至 30 d 时达显著水平, 而另外 4 种处理间无显著差异。200 mmol L⁻¹ 和 100 mmol L⁻¹ NaCl 处理对芦荟幼苗顶叶生长的抑制分别在处理 60 d 和 105 d 时达显著水平, 50 mmol L⁻¹ NaCl 与对照间的新叶生长动态无显著差异。400 和 200 mmol L⁻¹ 盐处理 90 d 后因叶先端发生干枯而呈现负生长。经分析, 芦荟叶片长度(L)与盐处理后日数(d)的关系呈一元二次曲线, 5 种盐浓度(C, mmol L⁻¹)下 L 与 d 及 L 与 C 和 d 的理想回归方程分别如下:

$$C \leq 100: L = 475.998 + 457.110(d - 10)^{0.02} - 7.834 \text{Exp}(d - 10) \quad (r = 0.9965);$$

$$200 \leq C \leq 400: L = 503.315 + 483.643(d - 10)^{0.02} - 8.976 \text{Exp}(d - 10) \quad (r = 0.9916);$$

$$0 \leq C \leq 400: L = -182.707 + 161.874(d - 10)^{6.00} + 4.027(C - 100)^{0.68} - 2.925(d - 10)^{0.49}(C - 100) - 4.425(d - 10)^{1.54}(C - 100)^{0.75} \quad (r = 0.9905)。$$

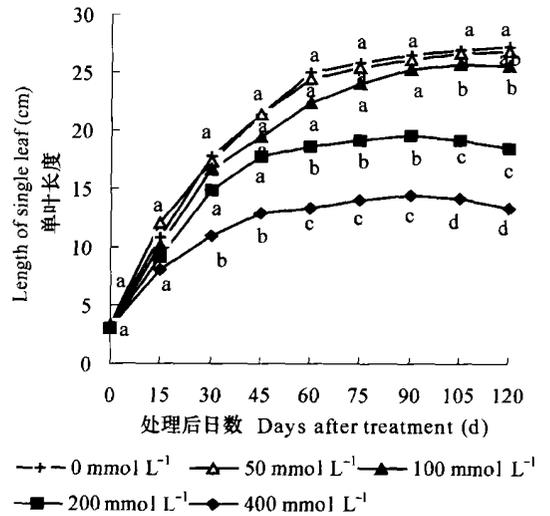


图 1 NaCl 胁迫对库拉索芦荟叶长生长动态的影响
Fig 1 Effect of NaCl stress on growth dynamics of leaves of *Aloe vera*

2.2 叶片形态、重量和含水量

叶片长度(L)、宽度(D)、厚度(T)和重量(W)是反映库拉索芦荟生长状况及其商品性状的重要指标。如图 2 所示, 库拉索芦荟在长期盐胁迫下这 4 项指标的数值基本上随盐胁迫程度的加重而减小, 减小幅度最大的是单叶重量和厚度, 其次是叶长, 叶宽对盐胁迫的敏感度明显较低。同时还可见, 50 mmol L⁻¹ NaCl 处理, 芦荟叶长和叶厚与对照之间均

无显著差异,叶宽和鲜重还受到了显著的促进。100 mmol L⁻¹ NaCl 处理下,库拉索芦荟叶长和叶宽与对照无显著性差异,单叶厚度和鲜重则与对照有显著性差异。经分析,芦荟叶的这4项指标同浇灌的溶液中NaCl含量(C)之间呈紧密的线性负相关关系,各自的回归方程及相关系数分别为:L=23.218-0.016C($r = -0.9517$), D=3.331-0.020C($r = -0.8029$), T=1.016-0.001C($r = -0.9428$), W=34.081-0.054C($r = -0.9394$);关键性指标——单叶重量与另外3项指标间则存在紧密的正相关关

系,各自的回归方程分别为:W=-43.942+3.363L($r = 0.9933$), W=-56.743+26.744D($r = 0.9205$), W=-10.513+43.099T($r = 0.9933$)。盐胁迫下库拉索芦荟叶片的这些变化与其叶片含水量(LWC)随NaCl含量增加而降低有关:以干重为基础的LWC,50、100 mmol L⁻¹ NaCl处理与对照无显著性差异,200、400 mmol L⁻¹ NaCl处理与对照及另2种处理有显著性差异,5处理LWC的变幅为2.141%~5.017%。

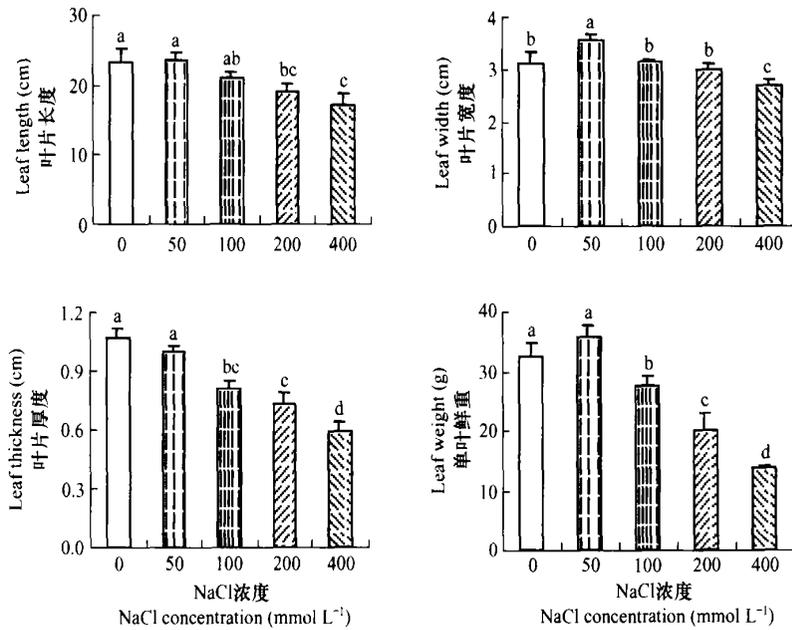


图2 NaCl胁迫对库拉索芦荟单叶生长的影响

Fig. 2 Effect of NaCl stress on leaf growth of *Aloe vera*

2.3 绿色叶片数和叶绿素含量

长期盐胁迫下,库拉索芦荟基部叶片发生不同程度的干枯凋落,绿叶数量减少,植株矮化。经分析,以含盐营养液浇灌120 d,芦荟植株的枯叶数(K)与营养液NaCl含量(C)间呈紧密的线性正相关关系,回归方程为K=1.293+0.015C($r = 0.9205$);植株的绿叶数(G)和总叶数(N)与营养液中NaCl含量(C)间则呈现紧密的负相关关系,回归方程分别为G=15.898-0.011C($r = -0.9333$)和N=17.191-0.006C($r = -0.9387$)。而且,各相应处理的这3项指标随营养液中NaCl含量不同而表现出的差异性完全一致,只有当NaCl含量达200 mmol L⁻¹及其以上时方与对照有显著性差异,其余各处理与对照均无显著性差异(图3)。

由图3还可见,不同程度盐胁迫对库拉索芦荟

单株叶片总数的影响虽然显著,但比起对枯叶数和绿叶数的影响幅度则明显为小,表明盐胁迫对其叶原基发育的抑制相对较轻,下部叶片干枯的速度快于叶原基产生速度。与此相关,库拉索芦荟的叶绿素含量也表现出与营养液含盐量较密切的关系:叶绿素含量随NaCl含量的升高而降低,但50、100 mmol L⁻¹ NaCl处理间及其与对照间无显著性差异,与200 mmol L⁻¹ NaCl处理间则存在显著性差异,NaCl浓度达400 mmol L⁻¹时其叶片中的叶绿素含量仅为对照的49.61%、50 mmol L⁻¹ NaCl处理的46.34%。然而,库拉索芦荟叶片的叶绿素含量较低,对照植株一般为0.1034 g g⁻¹,原因主要是其叶片中不含叶绿素的贮水组织细胞(Aqueous cell)所占比重较大,另外也发现其细胞中的叶绿体虽然较大,但密度小、个数少。

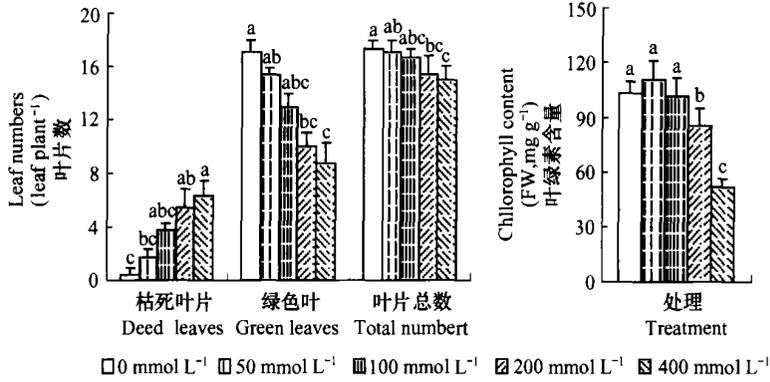


图3 NaCl胁迫对库拉索芦荟植株绿叶片数和叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of NaCl stress on number of green leaves and chlorophyll content of *Aloe vera* plant

2.4 根系周界和根系密集区

根系周界(The boundary of root system)和根系密集区(The dense radicle zone)是反映根系分布状况的重要指标,前者指植株外缘根系(Peripheral root system)分布所及的最大范围,包括根幅(Root radius)和根深(Root depth) 2项指标;后者指由内膛根系和根源生长的细根所构成的中心根系(Central root system)区的范围,也体现在水平(Horizontal)和垂直(Vertical)2个方向上。库拉索芦荟不具主根,为须

根系,根深和根幅十分相近,盐胁迫对它们的影响趋势一致:50、100 mmol L⁻¹ NaCl处理与对照无显著性差异,200 mmol L⁻¹ NaCl处理与对照有显著性差异。盐胁迫对库拉索芦荟根系密集范围的影响趋势在水平和垂直方向上也一致,差异性均随盐胁迫加重而增大,且在垂直方向上的抑制略大于水平方向,但当NaCl处理浓度至400 mmol L⁻¹时几乎只有根砧(Root stock)而无明显的根系密集区(图4)。

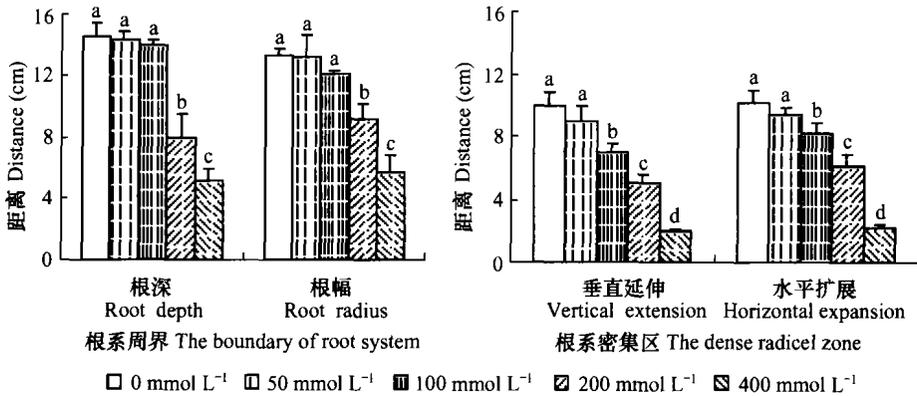


图4 NaCl胁迫对库拉索芦荟植株根系分布状况的影响

Fig. 4 Effect of NaCl stress on root distribution of *Aloe vera* plant

2.5 生物量和抽葶开花

以含盐溶液浇灌120 d,库拉索芦荟单株生物量与其器官种类关系密切,并受营养液中NaCl含量的支配(图5):NaCl 50 mmol L⁻¹,单株鲜重略高于对照,二者无显著性差异;NaCl 100 mmol L⁻¹,单株鲜重与其他4种处理间有显著性差异;NaCl含量达200、400 mmol L⁻¹时,单株鲜重均很小,且其间无显

著性差异。由图5还可见,在1年生以内,茎对库拉索芦荟单株鲜重的贡献很小,影响最大、起主导作用的器官是叶片,其次是根系;不同程度盐胁迫对叶片和根系鲜重的影响趋势一致,与全株的情形相同,但叶片在其全株干重中所占的比例下降,茎所占的比例明显增大,这主要是由于不同器官的含水量差异所致。不同程度盐胁迫对库拉索芦荟全株及各器官

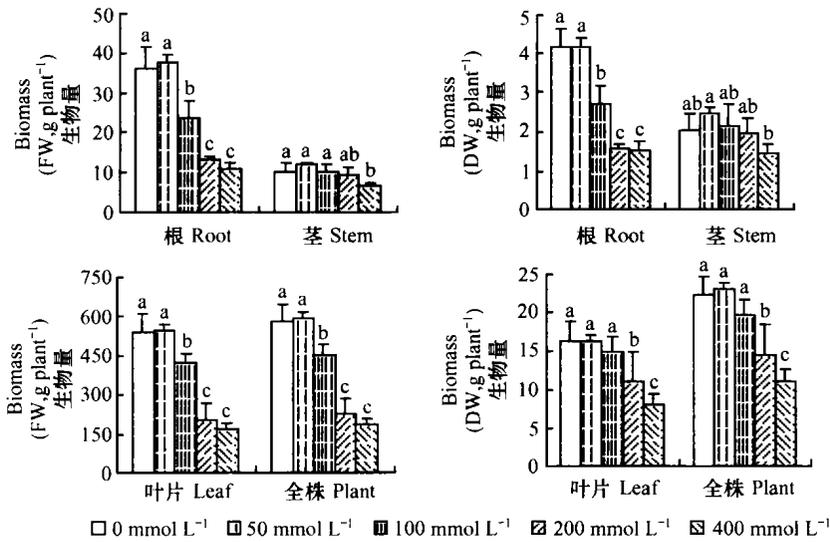


图5 NaCl胁迫对库拉索芦荟植株生物量的影响

Fig 5 Effect of NaCl stress on biomass of *Aloe vera* plant

干重的影响与鲜重相似,但与对照相比 100 mmol L⁻¹ NaCl 处理并未导致其叶片及全株干重的显著下降。库拉索芦荟根干重 (R_w)、叶干重 (L_w)、单株干重 (P_w) 及营养液含盐量 (C) 之间的回归方程和相关系数分别为:

$$P_w = 7.627 + 3.708R_w \quad (r = 0.9492); \quad P_w = -0.791 + 1.422L_w \quad (r = 0.9957);$$

$$P_w = 22.798 - 0.032C \quad (r = -0.9634); \quad R_w = 3.906 - 0.007C \quad (r = -0.8676);$$

$$L_w = 16.646 - 0.022C \quad (r = -0.9767); \quad L_w = 6.182 + 2.522R_w \quad (r = 0.9204).$$

花萼是芦荟重要的观赏器官,常用作鲜切花材料。营养、光照、温度等生境条件适宜时,1年生库拉索芦荟即可抽萼开花,否则难于抽生花萼。以 Hoagland 营养液浇灌,库拉索芦荟植株在当年 10 月下旬开始抽生花萼,11 月上旬达盛期,11 月中旬基本上不再抽生,此后花萼可保持 30 d 而不衰败。以 50、100 mmol L⁻¹ NaCl 处理,对芦荟抽生花萼不产生抑制作用;200 mmol L⁻¹ NaCl 处理,芦荟抽生的花萼长度缩短、数量明显减少;400 mmol L⁻¹ NaCl 处理,偶尔抽生花萼,且十分细弱、低矮。

2.6 全叶原汁出汁率及其理化性质

制汁是芦荟产品加工生产中的关键环节之一。由图 6 的分析测试结果可见,库拉索芦荟全叶原汁出汁率 (Rate of leaf juice) 以 100 mmol L⁻¹ NaCl 处理的最高,与 50 和 200 mmol L⁻¹ NaCl 处理间差异不显著,但显著高于对照,极显著高于 400 mmol L⁻¹ NaCl

处理;盐胁迫对其全叶原汁中可溶性固形物含量 (Soluble solids content) 和相对密度 (Relative density) 的影响与出汁率相似;全叶原汁呈酸性, pH 值随营养液中 NaCl 含量的增加而降低,但各处理间无显著性差异,表明在盐胁迫下其 pH 具有较强的稳定性。库拉索芦荟全叶原汁的旋转粘度 (Rotation viscosity) 随营养液中 NaCl 含量的增加而显著减小,50、100、200、400 mmol L⁻¹ NaCl 4 种含盐量处理的旋转粘度分别相当于对照的 64.37%、31.19%、9.01%、7.78%;汁液的电导率 (Electrical conductivity) 与旋转粘度呈完全相反的趋势,但 0、50、100 mmol L⁻¹ NaCl 3 种处理间均无显著性差异;汁液的灰分率 (Ash percentage) 以对照最低,以 50 mmol L⁻¹ NaCl 处理时最高,50、100 mmol L⁻¹ NaCl 处理间无显著性差异,但二者均显著高于对照和 200、400 mmol L⁻¹ NaCl 处理。由图 6 还可见,库拉索芦荟全叶原汁 (10%) 在 400 nm 处的吸光度 (Absorbance) 随 NaCl 含量的增加而增大,以 200 mmol L⁻¹ NaCl 处理的吸光度最大,与其他各处理差异显著,暗示叶中所含的相关活性物质此时可能并未因盐胁迫而减少。全叶原汁中的总糖含量 (Total carbohydrate content) 以对照最低,以 200 mmol L⁻¹ NaCl 处理的最高,50、100、200 mmol L⁻¹ NaCl 3 种处理间无显著性差异,400 mmol L⁻¹ NaCl 处理的总糖含量略高于对照,表明盐胁迫可促进库拉索芦荟叶片中总糖的合成代谢。库拉索芦荟全叶原汁中的多糖含量 (Polysaccharide content) 显著低于总糖含量,盐胁迫下的含量以 400 mmol L⁻¹ NaCl 处理的最低,以

100 mmol L⁻¹ NaCl 处理的最高, 显著高于对照, 但 50、100 mmol L⁻¹ NaCl 处理间以及对照、200 mmol L⁻¹ NaCl 处理间无显著性差异。此外, 将新鲜的库拉索芦荟汁液放在紫外灯下照射 6 h 以观察其色素稳定性(Pigment stability), 对照和 50 mmol L⁻¹ NaCl 处理的仍呈鲜绿色, 同未照射的相比保持了原有颜色; 100 mmol L⁻¹ NaCl 处理的汁液呈绿色, 稍显

混浊, 且底部明显产生沉淀; 200、400 mmol L⁻¹ NaCl 处理的汁液较清澈, 呈淡黄色, 主要原因是底部产生较多沉淀, 如若混匀则汁液颜色与各自未经紫外光照射的无明显差异。全叶原汁在 -2℃ 条件下保存 30 d 后的气味, 对照及 50、100 mmol L⁻¹ NaCl 处理的均无异味, 都可保持清新的芦荟汁味, 但 200、400 mmol L⁻¹ NaCl 处理所具有的芦荟汁味明显淡薄。

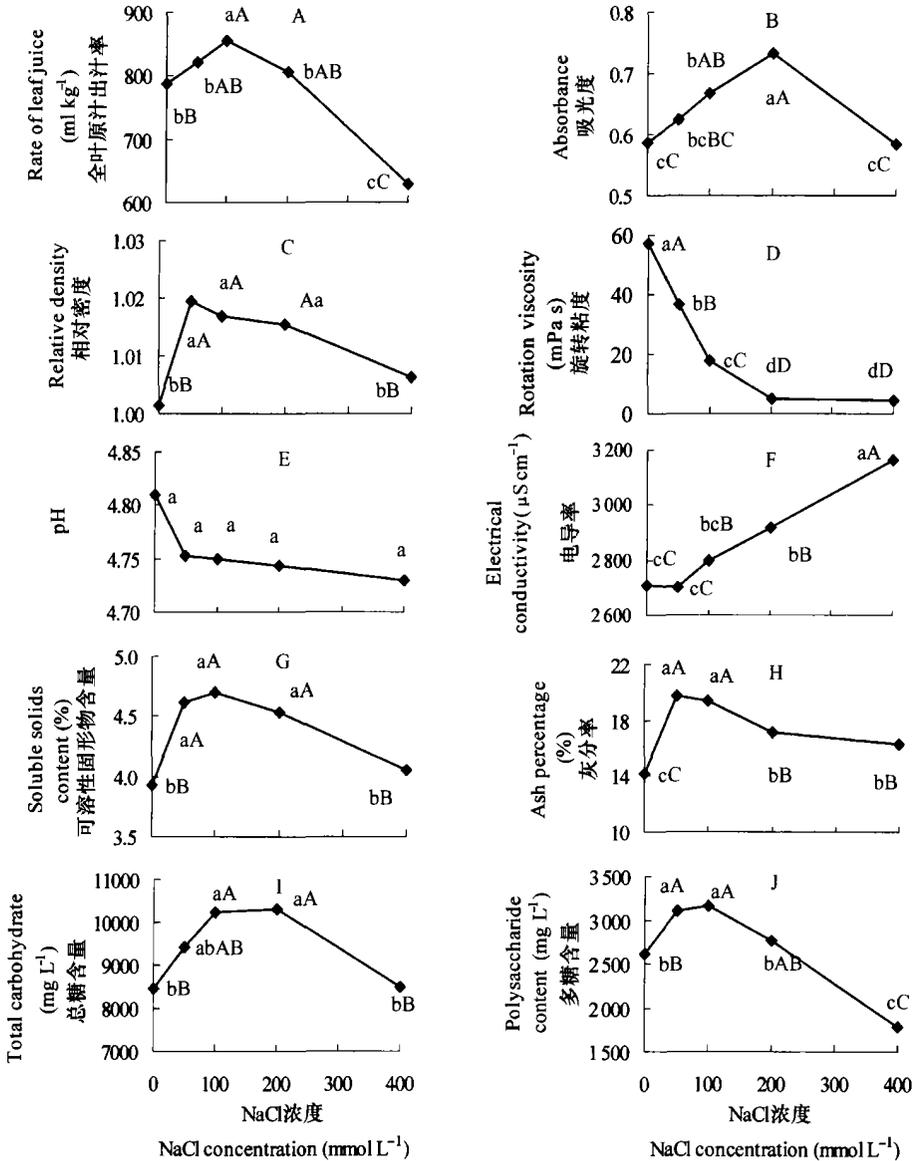


图 6 NaCl 胁迫对库拉索芦荟全叶原汁的出汁率及其理化性质的影响

Fig. 6 Effect of NaCl stress on rate and physical-chemical properties of leaf juice of *Aloe vera*

3 讨论

库拉索芦荟属于甜土植物(glycophyte), 是典型的旱生植物(xerophyte), 由于现代开发的历史短, 加

之肉质多汁、生长较慢, 对其盐胁迫响应的研究甚少^[4-6]。

生长发育是植物对盐胁迫响应的综合表现。本实验通过在温室中浇灌含 NaCl 的溶液砂培, 分析了库拉索芦荟在盐胁迫下的生长响应特点及全叶原汁

的理化性质,结果表明库拉索芦荟在盐胁迫下的生长表现与其他植物既相似又独特。相似的方面有:盐胁迫下新叶的生长速率减慢,基部叶片凋萎枯死,全株绿叶数量减少,叶片长度、厚度、宽度及重量、含水量、叶绿素含量减小,根系生长发育受抑制,生物量下降;独特的是:长期浇灌含 NaCl 50 mmol L^{-1} 甚至 100 mmol L^{-1} 的溶液对其生长量诸指标的影响较小,即使在 NaCl 含量达 400 mmol L^{-1} 的长期高盐胁迫下,虽然根系完全腐烂,其地上部分仍可长时间保持很高的含水量和叶绿素含量,植株并不是完全意义上的死亡,这在甜土草本植物中实属少见。显示该种植物不仅具有极强的抗旱力,也具有一定耐盐力。但 50 、 100 mmol L^{-1} NaCl 处理对库拉索芦荟生长的影响有差别,主要证据是:处理后 120 d 时新叶的长度(图 1)、单叶厚度和鲜重、根系密集区范围(图 4)以及叶片和全株的鲜重、根系的干重和鲜重(图 5)等指标, 50 mmol L^{-1} NaCl 处理与对照无显著性差异,而 100 mmol L^{-1} NaCl 处理与对照有显著性差异。

因此,从生长响应综合评判,用含盐量 50 mmol L^{-1} NaCl 的溶液浇灌对库拉索芦荟比较安全。库拉索芦荟能适应一定程度盐胁迫的内在原因主要是:库拉索芦荟根系对离子的选择性吸收与运输较强,并随着盐胁迫强度的增强其选择性愈强^[5,6];库拉索芦荟叶片在解剖结构上由表皮(epidermis)、同化组织(chlorenchyma)、贮水组织(aquiferous tissues)和维管束(vascular bundles)4大部分构成,其中占横切面积大部分的组织是贮水组织,而其吸收的盐分在贮水组织细胞中积累较多,可有效减少盐分离子对叶片同化组织的伤害^[5];库拉索芦荟具有较强的渗透调节能力^[6]。

就主要利用价值而言,库拉索芦荟属于药用和日用化工用芦荟。因此,盐胁迫对其叶片商品价值和化学成分的影响是很重要的。由于芦荟的多种生物活性成分,如芦荟素(aloin)、后莫拉特芦荟素(homonat-aloin)、芦荟大黄素(aloe-emodin)、芦荟多糖(polysacchride)等主要存在于叶片的同化组织和维管束中,所以芦荟全叶汁较凝胶汁在生产中更受重视^[3,11]。本实验测定了盐胁迫下库拉索芦荟全叶汁的大多数理化性质,结果表明各指标值均因浇灌的营养液中的 NaCl 含量不同而有较大差异,加盐有不良效应,也有积极作用。盐分的负作用主要是使芦荟汁的粘度降低、电导率和灰分率增大,这意味着库拉索芦荟汁液中胶性成分的合成受到抑制,对植物

有伤害作用的 Na^+ 、 Cl^- 增加,其灰分中可溶性灰分随 NaCl 浓度升高而显著升高(数据未列出)即是证据,但盐分改善其全叶原汁理化性质的正效应似乎多于其负作用,主要表现是: NaCl 含量在 200 mmol L^{-1} 及其以下的各处理,全叶原汁出汁率、可溶性固形物含量、相对密度、总糖含量、多糖含量和吸光度均较对对照明显增大或处于相当的有益水平上(图 6)。按照 QB/T 2489-2000 的规定,上述所有指标几乎都在标准值范围内^[8],表明盐胁迫虽然对库拉索芦荟叶片汁液理化性质有较大影响,但只要对植株生长不产生明显负效应,以 $50\sim 100 \text{ mmol L}^{-1}$ NaCl 含盐溶液浇灌可以实现安全有机栽培。

综上所述,库拉索芦荟具有咸水微咸水灌溉栽培的潜势。尤其在自然条件下,由于土壤的吸附、地下水的浸润和降水的淋洗,盐分对芦荟生长发育的抑制作用和汁液理化性质产生的负效应可被大为缓解,若利用滴灌等相宜的高新节水技术灌溉则效果可更好,宜加大对芦荟耐盐性调控的理论与技术,咸水微咸水灌溉下的需水需肥特性,土壤盐分的运移、平衡规律及其与有机芦荟生产的关系的研究。

参考文献

- [1] 刘兆普,沈其荣,尹金来,等.滨海盐土农业.北京:中国农业科技出版社,1998.1~3. Liu Z P, Shen Q R, Yin J L, et al. Agriculture of Saline Soil on Coast (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998. 1~3
- [2] 黄强,李生秀,宋郁东.咸水灌溉沙地的水盐运移规律.土壤学报,2003,40(4):547~553. Huang Q, Li S X, Song Y D. The movement of water and salt in sand land after irrigated with saline water (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(4): 547~553
- [3] 张延坤,金京顺.芦荟的特殊功能及其在日化工业中的应用.日用化学工业,2001,31(3):40~43. Zhang Y K, Jin J S. The special functions of aloes and their application on daily chemical industry (In Chinese). China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2001, 31(3): 40~43
- [4] 刘联,刘玲,刘兆普,等.南方海滩海水灌溉库拉索芦荟的试验研究.自然资源学报,2003,18(5):589~594. Liu L, Liu L, Liu Z P, et al. Study on Aloe L irrigated by seawater in the searbench of South China (In Chinese). Journal of Natural Resources, 2003, 18(5): 589~594
- [5] 郑青松,刘兆普,刘友良,等.等渗的盐分和水分胁迫对芦荟幼苗生长和离子分布的效应.植物生态学报,2004,28(6):823~827. Zheng Q S, Liu Z P, Liu Y L, et al. Effect of iso-osmotic salt and water stresses on growth and ionic distribution on Aloe seedlings (In Chinese). Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6): 823~827
- [6] 郑青松,刘友良,刘兆普,等.盐分和水分胁迫对芦荟幼苗渗透调节和渗透物质积累的影响.植物生理与分子生物学学报,2003,29(6):585~588. Zheng Q S, Liu Y L, Liu Z P, et

- al. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment and osmoticum accumulation on *Aloe vera* seedlings (In Chinese). *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(6): 585~ 588
- [7] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会编. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999. Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Society of Plant Physiology, eds. *Experimental Guideline of Modern Plant Physiology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [8] 国家轻工业局. QB/T 2489-2000. 见: 中华人民共和国轻工行业标准. 北京: 中国轻工业出版社, 2000. State Bureau of Light Industry. QB/T 2489-2000. In: *Light Industry Criteria of People's Republic of China* (In Chinese). Beijing: China Light Industry Press, 2000
- [9] 张意静. 食品分析技术. 北京: 中国轻工业出版社, 2001. Zhang Y J. *Food Analysis Technology* (In Chinese). Beijing: China Light Industry Press, 2001
- [10] 董群, 郑丽伊, 方积年. 改良的苯酚- 硫酸法测定多糖和寡糖含量的研究. *中国药学杂志*, 1996, 31(9): 550- 553. Dong Q, Zheng L Y, Fang J N. Modified phenol-sulfuric acid method for determination of the content of oligo- and polysaccharides (In Chinese). *China Pharm. J.*, 1996, 31(9): 550~ 553
- [11] 焦玉英, 王环, 孙玉梅. 芦荟多糖及其测定. *食品研究与开发*, 1997, 18(4): 42- 45. Jiao Y Y, Wang H, Sun Y M. Aloe polysaccharide and its determination (In Chinese). *Food Research and Development*, 1997, 18(4): 42~ 45
- [12] 刘友良, 毛才良, 汪良驹. 植物耐盐性研究进展. *植物生理学通讯*, 1987, 23(4): 1~ 7. Liu Y L, Mao C L, Wang L J. Recent progress in studies on salinity tolerance in plants (In Chinese). *Plant Physiology Communication*, 1987, 23(4): 1~ 7
- [13] 刘友良, 汪良驹. 植物对盐胁迫的响应及其耐盐性. 见: 余叔文, 汤章城主编. *植物生理学与分子生物学*. 北京: 科学出版社, 1998. 752~ 769. Liu Y L, Wang L J. Responses to salt stress in plants and its salt tolerance (In Chinese). In: Yu S W, Tang Z C. eds. *Plant Physiology and Molecular Biology*. Beijing: Science Press, 1998. 752~ 769

EFFECT OF LONG-TERM SALT STRESS ON *ALOE VERA* IN GROWTH AND PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF LEAF JUICE

Xu Chengxiang¹ Zheng Qingsong^{2,3} Liu Youliang^{1†} Liu Zhaopu²

(1 College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(3 Key Laboratory of Crop Cultural Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract Aloe, a typical xerophyte, is of important value in medicine and therapeutics, cosmetics, food industry, landscape and ornamental horticulture. According to biological characteristics, aloe belongs to a glycophyte rather than a halophyte. So far, available information on response of aloe to salt stress is little. In this study several aspects embodying salt resistant ability were studied with seven-leaf old *Aloe vera* cultured in sand for 120 days. Experimental results show that growth of aloe was closely correlated with salt concentration in irrigated nutrient solution. The treatment of 200 mmol L⁻¹ NaCl significantly retarded growth of aloe, reducing elongation dynamics, length, width, thickness, weight, water content, and chlorophyll content of its leaves, perimeter of the root system, dense radicle zone, biomass of different organs and a single plant, but increasing the number of withered leaves, which were even more remarkable when sodium chloride concentration reached to 400 mmol L⁻¹. However, the negative effects of salt stress on aloe growth were not very marked when sodium chloride concentration was less than 100 mmol L⁻¹ as was compared with C. the control K, no NaCl added into irrigated solution, especially when the concentration of NaCl was 50 mmol L⁻¹. The effects of salt stresses between 50 and 100 mmol L⁻¹ NaCl treatments on physical-chemical properties of aloe leaf juice, such as rate of leaf juice, soluble solids content, rotation viscosity, relative density, absorbance, electrical conductivity, pH value, ash percentage, total carbohydrate content and polysaccharide content were not significant. Both of the treatments produced active effects on physical-chemical properties. Based on these results, considering absorption of salt by soils, washing of rain and snow, and effect of ground water, *Aloe vera* is suitable to be irrigated with brine or weakly brine water.

Key words *Aloe vera*; Sand culture; Salt stress; Growth response; Leaf juice