

苗期栽培大豆 Cl^- 耐性的遗传分析^{*}

罗庆云¹ 刘友良^{2,3} 章元明^{1,3} 薛艳玲² 张 艳²

(1. 南京农业大学农学院, 作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京 210095; 2. 南京农业大学生命科学学院, 南京 210095; 3. 南京农业大学大豆研究所, 农业部国家大豆改良中心, 南京 210095)

摘要 NaCl 胁迫下载培大豆所受的离子胁迫作用主要是由 Cl^- 毒害所引起的, 可以通过改良栽培大豆的 Cl^- 敏感性来提高栽培大豆的耐盐性。本研究对栽培大豆品种南农 1138-2、南农 88-31 和 Jackson 间配制的 2 个杂交组合的 P_1 、 P_2 、 F_1 、 F_2 和 $\text{F}_2:3$ 世代的 Cl^- 耐性进行了调查, 并利用主基因+多基因混合遗传模型联合分离分析方法分析栽培大豆的 Cl^- 耐性遗传规律。结果表明, 南农 88-31×Jackson 和南农 1138-2×南农 88-31 的 Cl^- 耐性遗传都符合 D-0 模型, 即上述两组合的 Cl^- 耐性都受 1 对加性-显性主基因控制, 同时也受加性-显性-上位性多基因控制。南农 88-31×Jackson 组合的主基因和多基因加性效应都高于南农 1138-2×南农 88-31 组合。但是, 其主基因和多基因显性效应远低于南农 1138-2×南农 88-31 组合。从 $\text{F}_2:3$ 估计的主基因遗传力分别为 0.54% 和 18.23%, 估计的微效基因遗传力分别为 83.56% 和 16.32%。表明, 可以利用 Cl^- 耐性强的大豆亲本配制杂交组合, 并且在育种的早期阶段选育 Cl^- 耐性强的单株或家系, 以获得耐盐性高的栽培大豆品种。

关键词 栽培大豆; Cl^- 耐性; 遗传; 主基因+多基因遗传模型; 多世代联合分离分析

中图分类号 S 565.1 S 332.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)04-0390-05

土壤盐渍化是影响农业生产和生态环境的一个重要因素, 据统计, 全球盐土约占陆地面积的 1/3, 工业污染、淡水资源匮乏及不合理灌溉方式导致次生盐碱地面积不断扩大。我国盐碱土的总面积约 4000 万 hm^2 , 其中已开垦的有近 1000 万 hm^2 , 还有近 3000 万 hm^2 等待开垦利用; 同时, 次生盐渍化土壤约有 1000 万 hm^2 ^[1]。在耕地资源日益紧张的今天, 盐碱地的利用越来越受到关注。耐盐植物新品种的选育是开发利用盐碱地最有效的途径之一。

栽培大豆 (*Glycine max* L. Merrill) 属于中度耐盐植物, 在盐胁迫下, 株高、茎节和分枝、百粒重、单株荚数、粒数和粒重等下降, 导致产量下降, 盐敏感品种较耐盐品种所受的影响更大^[2]。

有关栽培大豆耐盐性的遗传特性研究较少, 邵桂花等^[3]的研究结果表明, 栽培大豆的耐盐性受一对等位基因控制, 耐盐为显性, 盐敏感为隐性。此后, 他们获得了与大豆耐盐性基因紧密连锁的共显性 PCR 分子标记^[4], 为栽培大豆的耐盐育种提供了

的分子辅助选择手段。

在盐碱土中, 栽培大豆主要受分别占阴阳离子总量 90% 以上的 Na^+ 和 Cl^- 的胁迫作用^[5], 在大豆耐盐性遗传和生理机制研究中, 邵桂花等^[3]和 Abel^[9]都注意到了 Cl^- 毒害对大豆叶片等的伤害作用, 我们的前期研究结果表明, 栽培大豆所受的离子胁迫作用主要是由 Cl^- 毒害所引起的^[6-8], 因而, 对栽培大豆的 Cl^- 耐性的遗传规律进行研究不但可以进一步阐明栽培大豆的耐盐机理, 又可以为栽培大豆的耐盐育种提供遗传和生理学依据。但是, 有关栽培大豆对 Cl^- 胁迫作用的耐性遗传方面的研究很少, 到目前为止, 只有 Abel^[9]从质量遗传学角度阐明了栽培大豆的叶片和茎秆对 Cl^- 的排吸特性受一对等位基因控制, 而对于栽培大豆对 Cl^- 毒害耐性方面的遗传特性研究还未见报道。本研究利用耐 Cl^- 性不同的栽培大豆组配了 2 个杂交组合, 并利用其亲本、 F_1 、 F_2 和 $\text{F}_2:3$ 等 5 个世代为材料, 从数量遗传学的角度, 采用植物数量性状主基因+多基因

* 收稿日期: 2005-12-02

基金项目: 国家自然科学基金(39870069)和农业部植物营养与养分循环重点开放实验室开放基金资助项目

作者简介: 罗庆云(1974-), 男, 博士, 主要从事植物逆境生理和遗传研究。E-mail: qingyunluo8588@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘友良, Tel: 025-84395347; E-mail: liuyl20041@yahoo.com.cn

混合遗传模型, 在 Cl⁻ 复盐胁迫下来分析栽培大豆对 Cl⁻ 耐性的遗传规律^[10, 11], 为改良栽培大豆对 Cl⁻ 毒害的敏感性提供遗传学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料的准备

2000 年在南京农业大学国家大豆改良中心江浦试验农场配制南农 88-31×Jackson 和南农 1138-2×南农 88-31 等 2 个组合。2001 年和 2002 年夏天在农场繁种加代。

1.2 试验材料的培养

于 2003 年 3 月中旬气温回升稳定后, 在玻璃温室内播种试验用材料, 将参试组合的亲本、F₁、F₂ 和 F_{2:3} 种子播种于盛满经清水清洗的河砂的一次性塑料杯(容积为 355ml, 高 10cm, 下口径为 5.5cm, 上口径为 9cm, 底部具孔)中。播种前先用自来水将杯中的河砂浇透, 使其上表面平整, 并位于杯口以下 1cm 处。然后将种子播种于河砂的上表面, 上覆 1cm 厚的河砂, 再用自来水浇透。每一组合的亲本、F₁、F₂ 分播于多只塑料杯中, F_{2:3} 世代的每个株系播种于同一塑料杯中, 每杯播种 10 粒种子, 并将同一组合的各世代布置在一起, 以尽量均一同一组合各世代间小环境。之后, 浇水培养至所有参试植株生长至 2 叶 1 心期后, 参照本文 1.3 部分描述的方法进行处理。实验条件: 昼/夜温度为 29±2℃/19±2℃, 每日光照 12~13h。

1.3 大豆亲本及其杂交后代的 Cl⁻ 耐性测定

参照 Kingsbury 和 Epstein 方法^[12], 利用 MgCl₂、KCl、CaCl₂ 和 NH₄Cl 等配制 Cl⁻ 盐进行处理, 其摩尔浓度比为 MgCl₂ : KCl : CaCl₂ : NH₄Cl = 38 : 54 : 36 : 9。第 1 到 2d 的 Cl⁻ 处理浓度为

100mmol/L, 第 3d 至第 8d 期间的 Cl⁻ 处理浓度增加为 150mmol/L, 从第 9d 开始, Cl⁻ 的处理浓度增加为 250mmol/L, 一直处理到所有参试植株的叶片都出现 Cl⁻ 毒害症状持续处理时间为 4 周。在处理期间, 每天统计各参试组合的亲本、F₁、F₂ 和 F_{2:3} 等 5 个世代的叶片表现受害症状的植株数, 并将受害植株从基部剪去。处理期间用空调控制温度, 遇阴天, 利用太阳灯补光。

1.4 遗传数据的分析

采用植物数量性状主基因+多基因混合遗传模型分析方法^[10, 11]。这种分析方法充分地考虑并利用了分离世代成分分布所提供的信息, 从而使得分析的结果更加准确。利用各参试组合亲本、F₁、F₂ 和 F_{2:3} 世代的耐 Cl⁻ 系数进行分析, 耐 Cl⁻ 系数的计算方法为: 某植株的耐 Cl⁻ 系数 (mmol/L·d) = \sum 该植株的存活天数 (d) × 存活期间的 Cl⁻ 处理浓度 (mmol/L)^[13]。其中亲本、F₁ 和 F₂ 世代的资料为个体观察值, F_{2:3} 世代的资料为家系内各单株耐 Cl⁻ 系数的加权平均数, 其计算方法为, 先统计该株系内各个单株的耐 Cl⁻ 系数, 再以该株系所有植株耐 Cl⁻ 系数的总和除以该株系参试植株总数。

2 结果与分析

2.1 大豆的耐 Cl⁻ 系数分布特征

组合南农 88-31×Jackson 的感 Cl⁻ 亲本 Jackson (P₂) 的耐 Cl⁻ 系数为 2 736 mmol/L·d, 低于耐 Cl⁻ 亲本南农 88-31 (P₁) 的耐 Cl⁻ 系数 3133 mmol/L·d。F₁ 的耐 Cl⁻ 系数为 3100 mmol/L·d, 为双亲中间型 (表 1)。同样地, 组合南农 1138-2×南农 88-31 的杂交一代 (F₁) 的耐 Cl⁻ 系数为 2350 mmol/L·d, 也为双亲中间型, 但偏向于感 Cl⁻ 亲本 (表 1)。

表 1 两个组合的 P₁、F₁、P₂、F₂ 和 F_{2:3} 世代植株耐 Cl⁻ 系数 (mmol/L·d) 分布表

Table 1 Distribution of Cl⁻ tolerant efficient (mmol/L·d) of P₁、F₁、P₂、F₂ plants and F_{2:3} lines populations of two soybean crosses

| 组合 Cross | 世代 Generation | 0~950 | 951~1550 | 1551~2150 | 2151~2750 | 2751~3350 | 3351~3950 | 3951~4550 | Σf | X |
|------------------------------|------------------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|--------|
| 南农 88-31 × Jackson | P ₁ | | | | 5 | 28 | | 5 | 38 | 3132.9 |
| | F ₁ | | | | | 9 | | | 9 | 3100 |
| | P ₂ | | 7 | 16 | 47 | | | | 70 | 2735.7 |
| | F ₂ | | 62 | 49 | 52 | 33 | | 4 | 200 | 1937.5 |
| | F _{2:3} | | 8 | 18 | 59 | 70 | 7 | | 162 | 2522.6 |
| 南农 1138-2 ×南农 88-31 | P ₁ | | | 51 | 24 | 4 | | 2 | 81 | 1701.9 |
| | F ₁ | | | | 9 | | | | 9 | 2350 |
| | P ₂ | | | | 5 | 28 | | 5 | 38 | 3132.9 |
| | F ₂ | 90 | 22 | 82 | 119 | 64 | | 3 | 380 | 1911.7 |
| | F _{2:3} | | 11 | 24 | 72 | 19 | | | 126 | 2296.8 |

2.2 大豆的 Cl⁻ 耐受性遗传

2.2.1 遗传模型

利用植物数量性状主基因+多基因混合遗传模型分析方法南农 88-31× Jackson 和南农 1138-2× 南农 88-31 等 2 个组合的亲本、F₁、F₂ 和 F_{2:3} 世代

的耐 Cl⁻ 系数在各种模型下的似然函数 (likelihood function), 获得了参试组合南农 88-31× Jackson 和南农 1138-2× 南农 88-31 的 Cl⁻ 耐受性在不同遗传模型下的极大似然函数和 AIC 值(表 2)。

表 2 二个组合的 P₁、F₁、P₂、F₂ 和 F_{2:3} 五世代联合分析在不同遗传模型下的似然函数值和 AIC 值

Table 2 The AIC values and the Max-likelihood values under various genetic models of P₁、F₁、P₂、F₂ plants and F_{2:3} lines populations of two soybean crosses

| 模型 Model | 南农 1138-2× 南农 88-31 | | 南农 88-31× Jackson | | 模型 Model | 南农 1138-2× 南农 88-31 | | 南农 88-31× Jackson | |
|-------------|---------------------|----------|-------------------|---------|-------------|---------------------|----------|-------------------|---------|
| | Max-l | AIC | Max-l | AIC | | Max-l | AIC | Max-l | AIC |
| A-1 | -5057.98 | 10123.95 | -3804.79 | 7617.59 | D-2 | -5042.95 | 10099.90 | -3743.50 | 7501.00 |
| A-2 | -5057.81 | 10121.61 | -3810.17 | 7626.35 | D-3 | -5041.80 | 10097.60 | -3748.45 | 7510.90 |
| A-3 | -5072.03 | 10150.05 | -3828.76 | 7663.51 | D-4 | -5047.74 | 10109.49 | -3748.45 | 7510.90 |
| A-4 | -5068.39 | 10142.78 | -3802.79 | 7611.57 | E-0 | -5042.26 | 10116.53 | -3723.87 | 7479.73 |
| B-1 | -5033.83 | 10087.65 | -3716.07 | 7452.13 | E-1 | -5029.32 | 10086.64 | -3721.09 | 7470.19 |
| B-2 | -5039.31 | 10090.63 | -3733.07 | 7479.13 | E-2 | -5035.20 | 10090.40 | -3741.96 | 7503.92 |
| B-3 | -5057.94 | 10123.88 | -3755.76 | 7521.52 | E-3 | -5041.63 | 10099.26 | -3741.72 | 7499.44 |
| B-5 | -5059.97 | 10127.94 | -3776.74 | 7561.48 | E-4 | -5042.12 | 10098.25 | -3742.05 | 7498.10 |
| C-0 | -5042.27 | 10104.53 | -3735.87 | 7483.73 | E-5 | -5039.02 | 10094.04 | -3736.82 | 7489.64 |
| D-0 | -5026.12 | 10072.25 | -3723.87 | 7467.74 | E-6 | -5038.00 | 10090.01 | -3739.47 | 7492.94 |
| D-1 | -5044.15 | 10104.31 | -3845.26 | 7706.52 | | | | | |

根据最小 AIC 值原则, 从各种模型中确定了南农 1138-2× 南农 88-31 组合的 Cl⁻ 耐受性最优遗传模型为 1 对主基因+多基因(D-0); 南农 88-31× Jackson 组合的 Cl⁻ 耐受性最优遗传模型为 2 对主基因+多基因(B-1)和 1 对主基因+多基因(D-0)(表 2)。

进一步对候选遗传模型的适合度检验, 结果表明, 南农 1138-2× 南农 88-31 和南农 88-31× Jackson 等两组合的 Cl⁻ 耐受性遗传都符合 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(D-0)。

2.3 耐 Cl⁻ 性遗传参数的估计结果与分析

表 3 南农 88-31× Jackson 组合 D-0 模型分布和遗传参数的极大似然估计值

Table 3 The maximum likelihood estimates of component and genetic parameters in D-0 model of Nannong 88-31× Jackson cross

| | 参数 Parameter | 估计值 Estimate | 参数 Parameter | 估计值 Estimate | 参数 Parameter | 估计值 Estimate | 参数 Parameter | 估计值 Estimate |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 分布参数 Component parameters | μ_1 | 3132.89 | μ_{42} | 1933.87 | p_{43} | 0.25 | σ_{s2}^2 | 281255.84 |
| | μ_2 | 3100.00 | μ_{43} | 1761.447 | μ_{51} | 2704.06 | σ_s^2 | 249249.20 |
| | μ_3 | 2735.71 | σ_4^2 | 285783.63 | μ_{52} | 2520.57 | p_{51} | 0.25 |
| | σ^2 | 303887.69 | p_{41} | 0.25 | μ_{53} | 2344.45 | p_{52} | 0.50 |
| 主基因效应 Major gene effect | μ_{41} | 2121.06 | p_{42} | 0.50 | σ_{s1}^2 | 279637.97 | p_{53} | 0.25 |
| | m_1 | 2953.09 | m_2 | 3107.38 | m_3 | 2915.52 | m_4 | 1941.25 |
| 多基因效应 Poly-gene effect | m_5 | 2524.26 | d | 179.81 | h | -7.38 | | |
| | m | 3884.65 | $[d]$ | 18.78 | $[h]$ | -6996.29 | $[i]$ | -950 |
| F ₂ | $[i]$ | 6219.01 | | | | | | |
| | σ_p^2 | 609135.60 | σ_e^2 | 303887.70 | σ_{mg}^2 | 19464.31 | σ_{pg}^2 | 285783.60 |
| F _{2:3} | h_{mg}^2 | 3.20 | h_{pg}^2 | 46.92 | | | | |
| | σ_p^2 | 298306.10 | σ_e^2 | 47439.05 | σ_{mg}^2 | 1617.88 | σ_{pg}^2 | 249249.20 |
| | h_{mg}^2 | 0.54 | h_{pg}^2 | 83.56 | | | | |

从表 3 和 4 可以看出, 利用耐 Cl⁻ 性不同的栽培大豆杂交形成的南农 88-31× Jackson 和南农 1138-2× 南农 88-31 等两个组合的 Cl⁻ 耐受性遗传都符合 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(D-0)。其中, 南农 88-31× Jackson 组合的主基因和多基因加性效应都表现为正向增效(耐

Cl⁻ 系数), 分别为 $d=179.8$ 和 $[d]=18.78$; 南农 1138-2× 南农 88-31 组合的主基因和多基因加性效应都表现为负效, $d=-321.04$ 和 $[d]=-394.48$ 。但是, 在主基因和多基因显性效应方面, 南农 88-31× Jackson 组合的主基因和多基因显性效应($h=-7.38$, $[h]=-6996.29$)远低于南农 1138-2× 南农

88-31 组合的主基因和多基因显性效应 ($h = 1203.88$, $[h] = -4477.66$)。在多基因上位性效应中, 南农 88-31 \times Jackson 组合的加性 \times 加性 ($[ij]$) 和显性 \times 显性效应 ($[ll]$) 分别为 -950 和 6219.01, 南农 1138-2 \times 南农 88-31 组合的加性 \times 加性 ($[ij]$) 和

显性 \times 显性 ($[ll]$) 效应分别为 -500.94 和 2705.47; 而上述两组合的加性 \times 显性 ($[jl]$) 不能给予估计。从 $F_{2:3}$ 估计的主基因的遗传力较 F_2 估计的低, 分别为 0.54% 和 18.23%, 估计的微效多基因遗传力较 F_2 估计的高, 分别为 83.56% 和 16.32%。

表 4 南农 1138-2 \times 南农 88-31 组合 D-0 模型分布和遗传参数的极大似然估计值

Table 4 The maximum likelihood estimates of component and genetic parameters in D-0 model of Nannong 1138-2 \times Nannong 88-31 cross

| | 参数 | 估计值 | 参数 | 估计值 | 参数 | 估计值 | 参数 | 估计值 |
|---------------------------------|--------------|-----------|--------------|----------|-----------------|----------|-----------------|-----------|
| | Parameter | Estimate | Parameter | Estimate | Parameter | Estimate | Parameter | Estimate |
| 分布参数 Component parameters | μ_1 | 1701.85 | μ_{42} | 2559.73 | p_{43} | 0.26 | σ_{s2}^2 | 106958.59 |
| | μ_2 | 2350.00 | μ_{43} | 1676.89 | μ_{51} | 1646.95 | σ_5^2 | 37044.64 |
| | μ_3 | 3132.89 | α_4 | 0.00 | μ_{52} | 2569.93 | p_{51} | 0.21 |
| | σ^2 | 285276.53 | p_{41} | 0.28 | μ_{53} | 2289.03 | p_{52} | 0.54 |
| 主基因效应 Major gene effect | μ_{41} | 1034.81 | p_{42} | 0.47 | σ_{s1}^2 | 65572.30 | p_{53} | 0.25 |
| | m_1 | 2022.89 | m_2 | 1146.12 | m_3 | 2811.86 | m_4 | 1355.85 |
| 多基因效应 Poly-gene effect | m_5 | 1967.99 | d | -321.04 | h | 1203.88 | | |
| | m | 2918.31 | $[d]$ | -394.48 | $[h]$ | -4477.66 | $[i]$ | 2705.47 |
| F_2 | $[i]$ | 2705.47 | | | | | | |
| | σ_p^2 | 643717.4 | σ_e^2 | 285276.5 | σ_{mg}^2 | 358440.8 | σ_{pg}^2 | 0 |
| $F_{2:3}$ | h_{mg}^2 | 55.68 | h_{pg}^2 | 0 | | | | |
| | σ_p^2 | 226993.1 | σ_e^2 | 148562.1 | σ_{mg}^2 | 41386.3 | σ_{pg}^2 | 37044.64 |
| | h_{mg}^2 | 18.23 | h_{pg}^2 | 16.32 | | | | |

3 讨论

NaCl 胁迫下, 苗期栽培大豆所受的离子胁迫作用主要是由 Cl⁻ 毒害所引起的^[6~8], 通过育种途径提高栽培大豆的 Cl⁻ 耐性对改良栽培大豆的耐盐性具有非常明显的意义^[14,15]。本研究结果表明, 苗期栽培大豆的 Cl⁻ 耐性受一对主基因控制, 同时存在微效基因效应。这一结果从遗传学角度阐明了: 在盐胁迫下, 苗期耐盐性不同的栽培大豆间在对 Cl⁻ 的耐性上存在遗传物质上的差异。结合 Abel^[9] 从质量遗传学角度得到的有关田间栽培大豆的非苗期植株的茎秆和叶片对氯离子的吸排特性也受一对等位基因控制的结论, 我们可以推论: NaCl 胁迫下, 无论在苗期还是在其他时期, 栽培大豆对氯离子毒害的耐性可能都受一对主基因的控制, 至于在我们的研究中发现的主基因与 Abel^[9] 得到的主基因是否为同一主基因位点, 根据目前的结果, 暂时还难以确定, 还有待于进一步深入研究。

值得一提的是, 邵桂花等^[3] 在研究田间栽培大豆耐盐性时, 也是在苗期 (V_2 , V_3 和 V_4) 进行的, 其多年多组合的研究结果表明, 栽培大豆的苗期耐盐性也受一对主基因控制。在本研究中得到的有关“苗期栽培大豆对氯离子的耐性受一对主基因控制”

的结论, 以及从生理角度得到的有关“NaCl 胁迫下, 苗期栽培大豆所受的离子胁迫作用主要是由 Cl⁻ 毒害所引起的”结论^[6,7], 在盐胁迫下, 苗期栽培大豆的耐盐性反应主要表现为耐 Cl⁻ 毒害, 即耐盐性强的栽培大豆植株的根系、茎秆等对 Cl⁻ 的截拒和区域化作用强, 使其植株地上部和叶片中的 Cl⁻ 含量低于耐盐性弱的大豆品种^[9] (Abel 等^[9] 将此作用描述为“吸氯”和“排氯”); 同时, 其叶肉细胞的液泡对 Cl⁻ 的区域化能力也强于耐盐性弱的大豆品种, 且这些性状有可能都受同一对等位基因的主要控制, 同时, 也存在其他微效基因的功。

研究结果表明, 在组合南农 1138-2 \times 南农 88-31 的 F_2 代和 $F_{2:3}$ 代中, 主基因的遗传力都高于组合南农 88-31 \times Jackson, 揭示了控制栽培大豆 Cl⁻ 耐性的主基因效应在不同遗传来源的栽培大豆之间存在明显差异, 因而, 在栽培大豆 Cl⁻ 耐性育种中需要根据不同的遗传特性确定育种策略。同时, 微效基因对栽培大豆 Cl⁻ 耐性的影响较大, 表明以基因重组或聚合为基础的杂交育种方法仍然是改良栽培大豆 Cl⁻ 耐性的基本方法, 这需从 Cl⁻ 耐性强的大豆种质中进一步鉴定控制 Cl⁻ 耐性的基因, 并利用分子标记辅助选择技术以克服环境影响等缺陷, 通过提高栽培大豆的 Cl⁻ 耐性来进行栽培大豆的耐盐育种。

参 考 文 献

- 1 刘友良,汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性[A]. 见:余叔文,汤章城,主编. 植物生理与分子生物学(第二版)[C]. 北京:科学出版社,1998. 752-769.
- 2 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.
- 3 邵桂花,常汝镇,陈一舞,等. 大豆耐盐性遗传的研究[J]. 作物学报,1994,20(6):721-726.
- 4 郭蓓,邱丽娟,邵桂花. 大豆耐盐基因的PCR标记[J]. 中国农业科学,2000,33(1):10-11.
- 5 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993. 1-211.
- 6 罗庆云,於丙军,刘友良. NaCl胁迫下Cl⁻对大豆幼苗的胁迫作用大于Na⁺[J]. 中国农业科学,2003,36(11):1390-1394.
- 7 Luo Q Y, Yu B J, Liu Y L. Stress of Cl⁻ is stronger than that of Na⁺ on Glycine max seedling under NaCl stress[J]. Agricultural Sciences in China, 2002, 1(12): 1404-1409.
- 8 Luo Q Y, Yu B J, Liu Y L. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of soybean cultivars and wild soybean under NaCl stress[J]. Plant Physiology, 2005, 162: 1003-1012.
- 9 Abel GH. Inheritance of the capacity for chloride inclusion and chloride exclusion in soybeans[J]. Crop Sci., 1969, 9: 697-689.
- 10 章元明,盖钧镒. 利用P₁、F₁、P₂、F₂和F_{2:3}家系五世代联合分离分析的拓展[J]. 生物数学学报,2002,17(3):363-368.
- 11 盖钧镒,章元明,王健康. 植物数量性状遗传体系[M]. 北京:科学出版社(第一版). 2003. 169-219.
- 12 Kingsbury RW, Epstein E. Salt sensitivity in wheat[J]. Plant Physiology, 1986, 80: 651-654.
- 13 Hu Z A, Wang H X. Salt tolerance of wild soybean (*Glycine soja*) in natural populations evaluated by a new method[J]. Soybean Genetics Newsletter, 1997, 24: 79-80.
- 14 邵桂花,常汝镇,陈一舞. 大豆耐盐性研究进展[J]. 大豆科学,1993,12(3):244-248.
- 15 罗庆云,於丙军,刘友良,等. 栽培大豆耐盐性的主基因+多基因混合遗传分析[J]. 大豆科学,2004,20(4):239-244.

INHERITANCE OF Cl⁻ TOLERANCE OF *GLYCINE MAX* CULTIVARS IN SEEDLINGS

Luo Qingyun¹ Liu Youliang^{2,3} Zhang Yuanming^{1,3} Xue Yanling² Zhang Yan²

(1. National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 2. College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 3. Soybean Research Institute, Nanjing Agricultural University; National Center of Soybean Improvement, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095)

Abstract Stress of NaCl on seedlings of soybean cultivars was mainly caused by Cl⁻, and we could improve salt tolerance of soybean cultivars by amelioration of the Cl⁻ sensitive of cultivars. Inheritance of Cl⁻ tolerance in P₁、P₂、F₁、F₂ and F_{2:3} from two crosses of Nannong 88-31× Jackson and Nannong 1138-2× Nannong 88-31 were investigated by the mixed major gene plus poly-gene inheritance model of quantitative traits. The joint analyses results showed that the Cl⁻ tolerance of this two crosses were both controlled by a major gene and minor genes (the D-0 model). And the values of additive effect of the major gene and the minor genes of Nannong 88-31× Jackson were higher than those of Nannong 1138-2× Nannong 88-31, but the values of dominance effects of the major gene and the minor ones of Nannong 88-31× Jackson were lower than those of the latter cross. In F_{2:3} from cross of Nannong 88-31× Jackson and Nannong 1138-2× Nannong 88-31, the heritability values of the major gene were estimated as 0.54% and 18.23%, respectively. And those of the minor genes were estimated as 83.56% and 16.32%, respectively. Thus, it was possible for us to breed Cl⁻ tolerant soybean cultivars by choosing Cl⁻ tolerant parents and handling segregating generation.

Key words Soybean cultivars; Cl⁻ tolerance; Inheritance; Mixed major gene and polygene inheritance model; Joint segregation analysis of multiple generations