

# 不同土壤水分下大豆根冠互作对 产量和农艺性状的影响

李盛有,董丽杰,王雅珍,曹永强,闫春娟,王文斌,宋书宏

(辽宁省农业科学院作物研究所,辽宁 沈阳 100161)

**摘 要:**为明确不同土壤水分下大豆根冠互作对产量和农艺性状的影响,为大豆抗旱育种提供理论依据,利用耐旱型品种辽豆 14 与干旱敏感型品种辽豆 21 进行相互嫁接,在结荚期设置正常供水(80%田间持水量)和水分胁迫(50%田间持水量,持续 20 d)处理,成熟期测定主要农艺性状。试验结果表明,大豆地上部农艺性状和产量主要由地上部基因型决定,但水分胁迫下也会受到根系基因型的影响。正常供水与水分胁迫下,与辽豆 21 相比,辽豆 14 接穗的株高平均提高 24.3% 和 14.8%,主茎节数分别平均提高 19.6% 和 15.3%,分枝数分别平均提高 60.2% 和 90.6%,单株生物量平均提高 57.1% 和 87.1%,单株荚数平均提高 70.0% 和 92.3%,分枝荚数平均提高 159.9% 和 197.9%,分枝瘪荚率平均降低 57.8% 和 60.4%,最终单株粒重平均提高 19.9% 和 54.9%。与辽豆 21 自身嫁接植株相比,水分胁迫下,嫁接辽豆 14 砧木使单株荚重、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重分别显著提高了 45.8%、27.4%、21.7%、5.2% 和 20.4%,产量性状的提高与主茎第 9~15 节间有效荚数的提高有关。因此,通过地上部与根系的协同改良是提高大豆抗旱性的重要途径。

**关键词:**大豆;根冠互作;水分胁迫;农艺性状;产量

**中图分类号:**S565.1 **文献标志码:**A

## Effects of root-shoot interaction on yield and agronomic traits of soybean under different soil moisture conditions

LI Shengyou, DONG Lijie, WANG Yazhen, CAO Yongqiang,

YAN Chunjuan, WANG Wenbin, SONG Shuhong

(Institute of Crop Research, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 100161, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to determine the effects of soybean root-shoot interaction on yield and agronomic traits under different soil moisture conditions, thus provide theoretical basis for drought resistant soybean breeding. Grafted plants of drought-tolerant cultivar Liaodou 14 and drought-sensitive cultivar Liaodou 21 grew in the pot-culture experiments. Well-watered (80% of field water holding capacity) and water stress (50% of field water holding capacity, lasting for 20 days) were conducted during podding stage, and the agronomic traits were measured at maturity. The results showed that the agronomic traits and yield of soybean were mainly determined by the shoot genotype, but were also affected by the root genotype under water stress. Compared to Liaodou 21 scion, Liaodou 14 scion had averaged increases of 24.3% and 14.8% in plant height, 19.6% and 15.3% in main stem node number, 60.2% and 90.6% in number of branches, 57.1% and 87.1% in biomass, 70.0% and 92.3% in number of pod per plant, and 159.9% and 197.9% in number of pod on branch; it also had averaged decreases of 57.8% and 60.4% in flat pods rates on branch, and increases of 19.9% and 54.9% in grain yield under both well-watered and water stress conditions, respectively. Under water stress, grafting Liaodou 21 scion onto Liaodou14 root

收稿日期:2020-03-08

修回日期:2020-04-23

**基金项目:**辽宁省博士启动基金(2019-BS-134);中国博士后科学基金面上项目(2017M621157);辽宁省中央引导地方科技发展专项(2019JH6/10400001)

**作者简介:**李盛有(1987-),男,辽宁省海城人,博士,助理研究员,主要从事大豆抗逆生理研究。E-mail: shengyouli1987@126.com

**通信作者:**王文斌(1968-),男,研究员,主要从事大豆育种与栽培生理研究。E-mail: wwbin@163.com

宋书宏(1964-),男,研究员,主要从事大豆育种和栽培生理研究。E-mail: sshun@163.com

stock resulted in significant increases in pod weight per plant, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-seed mass, and grain yield per plant by 45.8%, 27.4%, 21.7%, 5.2%, and 20.4%, respectively, which was attributed to greater available number of pods on 9~15th nodes on stem, as compared to its self-grafts. Our results suggested that the cooperative improvement between shoot and root would be an important way to improve the drought resistance of soybean.

**Keywords:** soybean; shoot-root interaction; water stress; agronomic traits; grain yield

大豆是我国最重要的经济作物之一,在我国农业生产中占有极其重要的地位。从当前大豆产业发展形势来看,干旱频发和水资源日益减少是限制大豆产量可持续增长的关键环境胁迫因子<sup>[1-2]</sup>。选育耐旱型品种对于保证大豆产量稳定具有重要意义。

大豆的生长发育是一个地上部与根系相互影响、相互促进的过程<sup>[3-5]</sup>。土壤缺水条件下,大豆植株根系与地上部间的相互调节对抵御水分胁迫起到了重要作用。研究表明,适度干旱胁迫限制了地上部植株的生长,但促进了早期根系的生长来吸收更多的水分,维持较高的水分利用效率,从而并未带来大豆产量的大幅降低<sup>[6-7]</sup>。但若在营养生长阶段遭受严重和长期干旱胁迫,会导致大豆植株停止生长,干物质生产严重受阻,最终也会带来减产<sup>[8-9]</sup>。大豆对于干旱胁迫最敏感的时期是在大豆生殖生长阶段<sup>[6]</sup>。其中,开花结荚期水分胁迫能大大降低单株有效荚数,鼓粒始期水分胁迫则会降低粒重,两个不同生长时期产量分别降低 18%和 22%<sup>[10]</sup>。

近年来,国内研究者通过产量、农艺性状和生理指标对不同大豆种质资源的抗旱性进行了精准鉴定,筛选出一批耐旱型材料<sup>[11-15]</sup>。然而,由于根冠互作的存在,以往研究无法明确这些材料的耐旱性是得益于地上部性状的贡献还是根系的贡献,亦或是二者共同的作用。本研究以不同耐旱型品种进行相互嫁接,明确结荚期干旱胁迫下大豆根冠互作对产量和农艺性状的影响,从而为大豆抗旱育种提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用辽宁省农业科学院选育的耐旱型大豆品种辽豆 14 (L14) 和干旱敏感型大豆品种辽豆 21 (L21) 作为试材<sup>[16]</sup>,于子叶期采用劈接法对大豆植株进行嫁接,具体嫁接方法参照 Pantalone 等<sup>[17]</sup>。嫁接处理包括 2 个不嫁接处理 L14 和 L21,以及 4 个相互嫁接处理 L14/L14、L21/L21、L14/L21 和 L21/L14(表 1)。其中,L14/L14 和 L21/L21 分别为

自身嫁接植株,L14/L21 为 L14 接穗嫁接至 L21 砧木,L21/L14 为 L21 接穗嫁接至 L14 砧木。

### 1.2 试验设计

试验于 2018—2019 年连续 2 年在辽宁农业科学院试验基地自动抗旱棚内进行。盆栽用土来自大田,土壤理化性质为有机质含量 $22.30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,总氮含量 $1.91\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效氮含量 $0.09\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷含量 $0.01\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量 $0.11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH 为 6.8,田间持水量为 26.5%。待幼苗期嫁接植株成活后(成活率>90%),将嫁接植株和不嫁接植株统一移栽至室外盆栽(25 cm×20 cm×30 cm 塑料桶,12.5 kg 土)中。每盆定苗 2 株,随机区组排列,3 次重复,各试验处理见表 1。于结荚期开始控水处理,持续 20 d,而后开始恢复正常供水。供水处理(WW)使土壤含水量保持在田间持水量的 80%,水分胁迫处理(WS)使土壤含水量保持在田间持水量的 50%。每天用称重法测定土壤含水量,补水至设定值。

### 1.3 测定项目

于成熟期收获地上部植株并进行室内考种,测定株高、主茎节数、主茎干重、分枝数、分枝干重、荚数、瘪荚率、荚重、粒数和粒重。测定荚数、荚重、粒数和粒重时,分别将主茎与分枝分开进行,并且测定主茎每节的有效荚数。每个处理测定 3 次重复。

### 1.4 数据统计

数据分析采用 SPSS 17.0 软件进行。采用一般线性模型进行分析,包括 2 个水分处理、6 个嫁接处理和 2 年试验。其中,水分处理、嫁接处理和水分处理×嫁接处理作为固定因子,水分处理×年份、嫁接处理×年份和水分处理×嫁接处理×年份为随机因子。多重比较采用最小显著差异法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤水分下大豆根冠互作对株型性状的影响

方差分析表明,株高、主茎节数和分枝数在不同嫁接植株间存在极显著差异( $P<0.01$ ),在不同水分处理间无显著差异( $P>0.05$ ),但分枝数在水分处

理与基因型间存在显著的互作效应( $P<0.05$ )。总体来看,自身嫁接植株与不嫁接植株间株高、主茎节数和分枝数无明显差异(表 1)。水分胁迫使 L14/L21、L21/L21 和 L21/L14 的分枝数分别降低了 24.5%、26.8%和 20.7%,而使 L14/L14 的分枝数提高了 10.3%。株高和主茎节数主要受到接穗基因型影响。在正常供水和水分胁迫下,与 L21/L21 相比,L14/L21 的株高分别提高了 22.6%和 10.0%,主茎节数分别提高了 22.0%和 15.9%,分枝数分别提高了 88.9%和 94.6%;与 L21/L14 相比,L14/L14 的株高分别提高了 25.9%和 19.8%,主茎节数分别提高了 17.2%和 14.8%,分枝数分别提高了 34.6%和 87.2%;相比于 L21 接穗,L14 接穗的株高分别平均提高 24.3%和 14.8%,主茎节数分别平均提高 19.6%和 15.3%,分枝数分别平均提高 60.2%和 90.6%。

2.2 不同土壤水分下大豆根冠互作对干物质积累与分配的影响

方差分析表明,主茎干重、分枝干重、主茎荚干重、分枝荚干重和地上部干重在不同嫁接植株间存在极显著差异( $P<0.01$ ),在不同水分处理间存在极显著差异( $P<0.01$ ),并且在水分处理与基因型间存在显著的互作效应( $P<0.05$ )。由图 1 可见,自身嫁接与不嫁接植株间主茎干重、分枝干重、主茎荚干重、分枝荚干重和地上部干重无显著差异。水分胁迫使大豆植株地上部干重显著降低,但不同嫁接植

株的下降程度存在差异。其中,L21/L21 的下降幅度较大,主茎干重、分枝干重、主茎荚干重、分枝荚干重和地上部干重分别下降了 19.7%、11.3%、23.7%、55.1%和 33.2%,而 L14/L14、L14/L21 和 L21/L14 下降幅度较小,主茎干重、分枝干重、主茎荚干重、分枝荚干重和地上部干重分别平均下降了 4.0%、2.3%、27.4%、23.4%和 17.8%。在正常供水和水分胁迫下,与 L21/L21 相比,L14/L14 地上部干重分别显著提高了 55.9%和 92.1%,其中,分枝荚重的提高幅度大于主茎荚重,分枝荚重分别显著提高了 56.7%和 186.4%;与 L21/L21 相比,L14/L21 地上部干重分别显著提高了 58.3%和 82.0%,其中,分枝荚重的提高幅度大于主茎荚重,分枝荚重分别显著提高了 52.7%和 164.9%;与 L21/L21 相比,L21/L14 地上部干重分别提高了 7.8%和 41.5%,其中,主茎荚重的提高幅度大于分枝荚重,主茎荚重分别显著提高了 35.9%和 57.3%。

2.3 不同土壤水分下大豆根冠互作对荚数的影响

方差分析表明,主茎荚数、分枝荚数、单株荚数、主茎瘪荚率、分枝瘪荚率和单株瘪荚率在不同嫁接植株间存在极显著差异( $P<0.01$ ),在不同水分处理间存在极显著差异( $P<0.01$ ),并且在水分处理与基因型间存在显著的互作效应( $P<0.05$ )。由表 2 可知,水分胁迫降低了大豆的主茎荚数、分枝荚数和单株荚数,提高了主茎瘪荚率、分枝瘪荚率和单

表 1 不同大豆嫁接植株株高、主茎节数和分枝数对水分胁迫的响应

Table 1 Response of plant height, number of stem nodes and branches on different soybean grafts to water stress

| 嫁接(接穗/砧木)<br>(Scion/Rootstock) | 处理<br>Treatment | 株高/cm<br>Plant height | 主茎节数<br>No. of stem nodes | 分枝数<br>No. of branch |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| L14                            | WW              | 96.20ab               | 23.12ab                   | 6.31ab               |
|                                | WS              | 88.85bc               | 22.63b                    | 7.53a                |
| L21                            | WW              | 82.01c                | 20.97bc                   | 4.53bc               |
|                                | WS              | 79.42c                | 20.45bc                   | 3.36c                |
| L14/L21                        | WW              | 99.17a                | 25.00a                    | 8.17a                |
|                                | WS              | 86.00bc               | 23.17ab                   | 6.17b                |
| L14/L14                        | WW              | 97.17ab               | 23.83ab                   | 6.50ab               |
|                                | WS              | 90.67b                | 23.33a                    | 7.17ab               |
| L21/L21                        | WW              | 80.83c                | 20.50c                    | 4.33bc               |
|                                | WS              | 78.17c                | 20.00c                    | 3.17c                |
| L21/L14                        | WW              | 77.17c                | 20.33c                    | 4.83bc               |
|                                | WS              | 75.67c                | 20.33c                    | 3.83c                |

注:同列不同小写字母表示嫁接处理×水分处理下差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Values followed by the different letters within a column mean the significant difference among grafting treatment × water treatment interaction ( $P<0.05$ ). The same below.

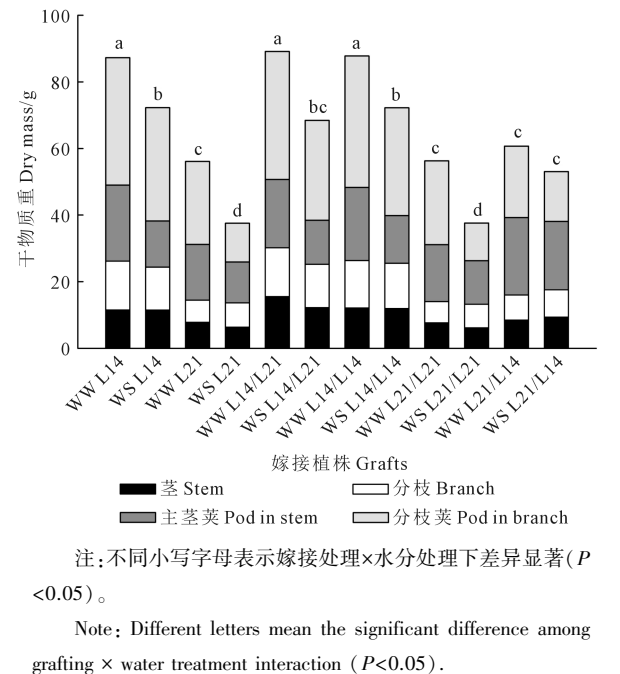


图 1 不同大豆嫁接植株各组织干物质重对水分胁迫的响应

Fig.1 Response of dry mass of each tissue on different soybean grafts to water stress

株瘪荚率。其中,L21/L21 的变化幅度较大,主茎节数、分枝荚数和单株荚数分别降低了 22.5%、16.3% 和 19.8%,主茎瘪荚率、分枝瘪荚率和单株瘪荚率分别提高了 122.1%、84.5% 和 107.0%;而 L14/L14、L14/L21 和 L21/L14 变化幅度则较小,主茎节数、分枝荚数和单株荚数分别平均降低了 17.0%、2.4% 和 8.5%,主茎瘪荚率、分枝瘪荚率和单株瘪荚率分别平均提高了 55.9%、57.8% 和 54.7%。在正常供水和水分胁迫下,与 L21/L21 相比,L14/L14 单株荚数分别显著提高了 73.9% 和 96.1%,主要得益于分枝具有较多的荚数和较低的瘪荚率,分枝荚数分别提高了 159.4% 和 201.4%,分枝瘪荚率分别降低了 57.0% 和 58.0%;与 L21/L21 相比,L14/L21 单株荚数分别显著提高了 66.1% 和 88.5%,也主要得益于分枝具有较

多的荚数和较低的瘪荚率,分枝荚数分别提高了 160.4% 和 194.4%,分枝瘪荚率分别降低了 58.6% 和 62.8%;与 L21/L21 相比,L21/L14 单株荚数分别显著提高了 10.0% 和 27.4%,主要得益于主茎具有较多的荚数和较低的瘪荚率,主茎荚数分别提高了 18.5% 和 32.3%,主茎瘪荚率分别降低了 22.0% 和 48.6%。

进一步分析表明,不同嫁接植株主茎荚的分布特点存在明显差异(图 2)。L14、L14/L14 和 L14/L21 的主茎荚分布于第 5 节位至第 25 节位,平均每个节位 2 个荚;而 L21、L21/L21 和 L21/L14 的主茎荚分布于第 4 节位至第 20 节位,但主要集中在分布于第 6 节位至第 15 节位,平均每个节位 3.9 个荚。虽然砧木基因型并未改变主茎荚的分布特征,但会影响每节位着荚数量。与 L21/L21 相比,L21/L14 正

表 2 不同大豆嫁接植株荚数和瘪荚率对水分胁迫的响应

| Table 2 Response of number of pod and flat pods rate on different soybean grafts to water stress |                 |                           |           |          |                                  |           |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------|----------|----------------------------------|-----------|---------|
| 嫁接(接穗/砧木)<br>Graft( Scion/Rootstock )                                                            | 处理<br>Treatment | 单株荚数 Pod number per plant |           |          | 单株瘪荚率 Flat pods rate per plant/% |           |         |
|                                                                                                  |                 | 主茎 Stem                   | 分枝 Branch | 总计 Total | 主茎 Stem                          | 分枝 Branch | 平均 Mean |
| L14                                                                                              | WW              | 47.19b                    | 88.16ab   | 135.34ab | 13.90c                           | 5.33c     | 9.61c   |
|                                                                                                  | WS              | 39.83c                    | 84.86b    | 124.69b  | 21.72bc                          | 10.42c    | 16.07bc |
| L21                                                                                              | WW              | 46.56b                    | 34.34cd   | 80.89c   | 16.72bc                          | 12.67bc   | 14.70b  |
|                                                                                                  | WS              | 39.15c                    | 30.77cd   | 69.92d   | 35.61a                           | 24.33a    | 29.97a  |
| L14/L21                                                                                          | WW              | 43.00bc                   | 92.17a    | 135.17ab | 22.28b                           | 5.30c     | 13.79c  |
|                                                                                                  | WS              | 35.83c                    | 87.26ab   | 123.09b  | 34.26a                           | 8.79c     | 21.52b  |
| L14/L14                                                                                          | WW              | 49.67ab                   | 91.83a    | 141.50a  | 13.36c                           | 5.50c     | 9.43c   |
|                                                                                                  | WS              | 38.67c                    | 89.33ab   | 128.00b  | 22.40b                           | 9.92c     | 16.16bc |
| L21/L21                                                                                          | WW              | 45.97b                    | 35.40c    | 81.37b   | 17.06c                           | 12.80bc   | 14.93bc |
|                                                                                                  | WS              | 35.65c                    | 29.64d    | 65.29d   | 37.89a                           | 23.62a    | 30.75a  |
| L21/L14                                                                                          | WW              | 54.47a                    | 35.01c    | 89.48c   | 13.31c                           | 13.82bc   | 13.56c  |
|                                                                                                  | WS              | 47.86b                    | 35.33c    | 83.19c   | 19.47bc                          | 17.59b    | 18.53bc |

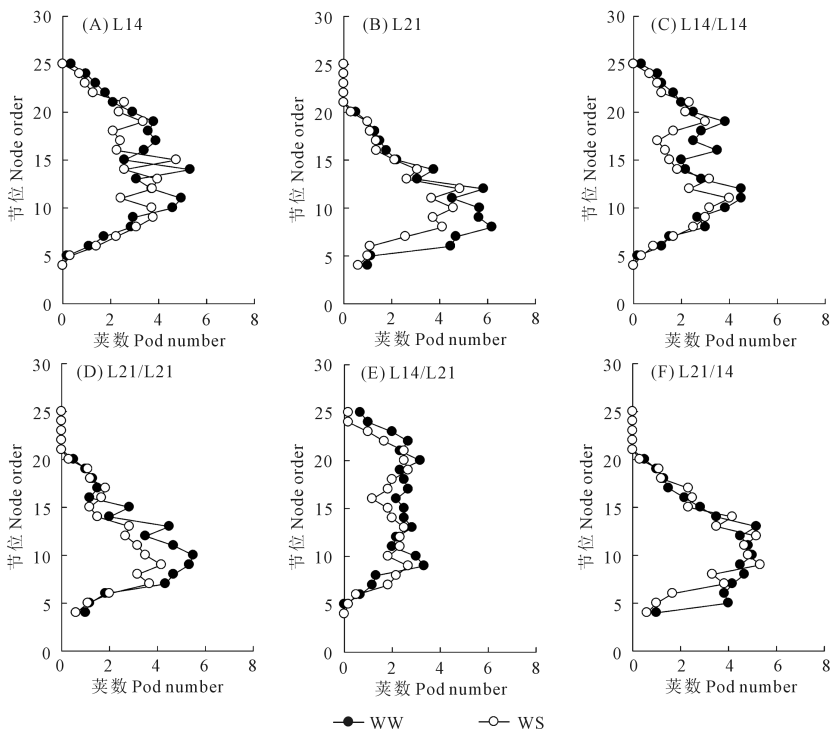


图 2 不同大豆嫁接植株主茎荚数的分布  
Fig.2 Distribution of number of pod on stem of different soybean grafts

常供水下平均每个节位增加了 0.5 个荚,而水分胁迫下平均每个节位增加了 0.7 个荚,其中,在第 9 节位至第 15 节位间,平均每个节位增加了 1.6 个荚。

2.4 不同土壤水分下大豆根冠互作对产量相关性状的影响

方差分析表明,单株粒数、百粒重和单株粒重在不同基因型间存在极显著差异 ( $P<0.01$ ),在不同水分胁迫处理间存在极显著差异 ( $P<0.01$ ),并且在水分处理与基因型间存在极显著的互作效应 ( $P<0.01$ )。由表 3 可知,自身嫁接与不嫁接植株间单株粒数、百粒重和单株粒重无显著差异。水分胁迫降低了大豆的单株粒数、百粒重和单株粒重,其中,L21/L21 的下降幅度较大,单株粒数、百粒重和单株粒重分别显著下降了 36.4%、15.6% 和 46.4%,而 L14/L14、L14/L21 和 L21/L14 下降幅度较小,单株粒数、百粒重和单株粒重分别平均下降了 25.9%、6.60%和 31.3%。在正常供水和水分胁迫下,与 L21/L21 相比,L14/L14 的单株粒数分别提高了 57.5%和 87.8%,单株粒重分别提高了 21.1% 和 64.6%,粒数和粒重的提高幅度在主茎与分枝间无差异;与 L21/L21 相比,L14/L21 的单株粒数分别提高了 52.7%和 67.4%,单株粒重分别提高了 18.6%和 45.2%,粒数和粒重的提高幅度在主茎与分枝间也无差异;与 L21/L21 相比,L21/L14 的单株粒数分别提高了 0.8%和 21.7%,百粒重分别提高了 0.9%和 5.2%,单株粒重分别提高了 1.6%和 20.4%,主要得益于主茎着粒数和粒重的提高,主茎粒数分别提高了 27.3%和 37.5%,主茎粒重分别提高了 28.4%和 44.7%。

3 讨论与结论

为了研究大豆地上部与根系间的相互作用,许多研究者将嫁接技术进行了诸多研究<sup>[17-18]</sup>。本研

究通过嫁接试验表明,大豆地上部农艺性状和产量主要由地上部基因型决定,但水分胁迫下会受到根系基因型的较大影响。

大豆开花与结荚期遭遇干旱胁迫,产量下降幅度最大<sup>[19]</sup>。一方面主要是由于干旱引起的光合能力下降,碳水化合物供应能力不足<sup>[20]</sup>。不同耐旱基因型大豆的光合作用对水分胁迫的响应存在明显差异<sup>[21-22]</sup>。水分胁迫下光合作用的稳定与否是衡量大豆耐旱性的一个重要指标<sup>[23]</sup>。前期研究发现,水分胁迫下辽豆 14 叶片仍能维持较高的光合速率,主要归因于非气孔因素<sup>[24]</sup>。本研究表明,在不同土壤水分下,辽豆 14 接穗的荚重和植株生物量均显著高于辽豆 21 接穗,这与闫春娟等<sup>[16]</sup>研究结果基本一致。另一方面,土壤干旱引起根系脱落酸的大量合成,并积累于花荚中,最终导致落花率和落荚率的增加<sup>[25]</sup>。本研究发现,水分胁迫下辽豆 14 接穗与辽豆 21 接穗相比,分枝上具有较多的荚数和较低的瘪荚率,从而导致较高的单株荚数、单株粒数和单株粒重,分别显著增加了 88.5%、67.4%和 45.2%。由此说明,干旱胁迫下辽豆 14 叶片具有较强的光合物质生产能力,改善了同化物对花荚发育的供应水平,从而能够形成相对较多的单株粒数。

众所周知,大豆根系不仅具有养分和水分的吸收以及信号传递的功能,并且具有与其共生的根瘤固氮菌,在调控地上部组织的生长和发育中起着极为重要的作用<sup>[26-27]</sup>。根系的重要性虽早已为国内外研究者们所注意,但由于土壤限制了研究者对根系的观察和测定,对作物根系性状的相关研究远远滞后于对地上部性状的相关研究<sup>[28]</sup>。本研究表明,砧木基因型对大豆的株高、主茎节数和分枝数无显著影响,但对单株荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重存在显著影响。Pantalone 等<sup>[17]</sup>研究表明,大豆抗

表 3 不同大豆嫁接植株产量相关性状对水分胁迫的响应

Table 3 Response of yield traits on different soybean grafts to water stress

| 嫁接(接穗/砧木)<br>Graft( Scion/Rootstock) | 处理<br>Treatment | 单株粒数 Seed number per plant |              |             | 百粒重 100-seed mass/g |              |            | 单株粒重 Seed mass per plant/g |              |             |
|--------------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|------------|----------------------------|--------------|-------------|
|                                      |                 | 主茎<br>Stem                 | 分枝<br>Branch | 总计<br>Total | 主茎<br>Stem          | 分枝<br>Branch | 平均<br>Mean | 主茎<br>Stem                 | 分枝<br>Branch | 总计<br>Total |
| L14                                  | WW              | 68.09a                     | 128.93a      | 197.01a     | 17.93d              | 17.26cd      | 17.59e     | 12.21ab                    | 22.25a       | 34.45a      |
|                                      | WS              | 40.52cd                    | 101.64bc     | 142.16bc    | 18.76cd             | 16.48d       | 17.62e     | 7.60c                      | 16.75b       | 24.35cd     |
| L21                                  | WW              | 46.41c                     | 82.69d       | 129.10c     | 24.74a              | 23.08a       | 23.91a     | 11.48ab                    | 19.08b       | 30.57b      |
|                                      | WS              | 42.38c                     | 39.46d       | 81.84de     | 19.47c              | 21.07b       | 20.27bc    | 8.25c                      | 8.32c        | 16.57f      |
| L14/L21                              | WW              | 64.75ab                    | 126.19a      | 190.94a     | 19.05c              | 18.19c       | 18.62d     | 12.34ab                    | 22.95a       | 35.29a      |
|                                      | WS              | 35.33d                     | 97.67c       | 133.00c     | 18.69cd             | 16.95d       | 17.82e     | 6.60c                      | 16.55b       | 23.16d      |
| L14/L14                              | WW              | 71.67a                     | 125.17a      | 196.84a     | 18.87cd             | 17.97c       | 18.42de    | 13.53a                     | 22.50a       | 36.02a      |
|                                      | WS              | 42.21cd                    | 106.99b      | 149.20b     | 18.21cd             | 17.35cd      | 17.78de    | 7.69c                      | 18.56b       | 26.25c      |
| L21/L21                              | WW              | 45.50c                     | 79.51d       | 125.01c     | 23.79a              | 23.79a       | 23.79a     | 10.83b                     | 18.92b       | 29.74b      |
|                                      | WS              | 41.15cd                    | 38.31d       | 79.46e      | 20.08bc             | 20.06b       | 20.07c     | 8.26c                      | 7.69c        | 15.95f      |
| L21/L14                              | WW              | 57.92b                     | 68.05e       | 125.97c     | 24.01a              | 23.99a       | 24.00a     | 13.90a                     | 16.33b       | 30.23b      |
|                                      | WS              | 56.59b                     | 40.07d       | 96.66d      | 21.12b              | 21.10b       | 21.11b     | 11.95ab                    | 8.46c        | 20.40e      |

旱种质资源 PI416937 作为砧木能够使其它基因型大豆接穗籽粒干重获得显著提高。前期研究发现,在正常供水条件下,辽豆 14 作为砧木在生育后期具有较高的根系生理活性,可以显著提高当代育成品种的光合速率<sup>[29]</sup>,从而提高百粒重和单株产量<sup>[30]</sup>。在水分胁迫下,嫁接辽豆 14 砧木同样能够使辽豆 21 接穗的叶片相对含水量、光合速率、Rubisco 羧化效率显著提高<sup>[24]</sup>。在本研究中,嫁接辽豆 14 砧木使水分胁迫下的辽豆 21 接穗的单株荚重、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重显著提高了 45.8%、27.4%、21.7%、5.2% 和 20.4%。其中,荚粒数的提高主要得益于主茎上较多的有效荚数和较低的瘪荚率。进一步分析发现,辽豆 21 接穗嫁接辽豆 14 砧木后,主茎第 9 节位至第 15 节位间,平均每个节位增加了 1.6 个荚。因此,通过根系改良也是提高干旱下大豆产量的一条重要途径。

综上所述,在正常供水和水分胁迫下,与辽豆 21 相比,辽豆 14 接穗的株高平均提高 24.3% 和 14.8%,主茎节数分别平均提高 19.6% 和 15.3%,分枝数分别平均提高 60.2% 和 90.6%,单株生物量平均提高 57.1% 和 87.1%,单株荚数平均提高 70.0% 和 92.3%,分枝荚数平均提高 159.9% 和 197.9%,分枝瘪荚率平均降低 57.8% 和 60.4%,最终单株粒重平均提高 19.9% 和 54.9%。与辽豆 21 自身嫁接植株相比,水分胁迫下,嫁接辽豆 14 砧木使单株荚重、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重分别显著提高了 45.8%、27.4%、21.7%、5.2% 和 20.4%,产量性状的提高与主茎第 9~15 节位间有效荚数的提高有关。因此,在品种选育过程中,在对地上部产量相关性状进行改良的同时,也要关注根系性状的选择,从而提高大豆品种的抗旱性。

#### 参 考 文 献:

- [1] Koester R P, Nohl B M, Diers B W, et al. Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars [J]. Plant, Cell and Environment, 2016, 39(5):1058-1067.
- [2] Yahouei S H, Behamta M R, Babaie H R, et al. Screening of drought-tolerant and sensitive genotypes in soybean (*Glycine max* L.) using different multivariate methods [J]. International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology, 2018, 7(2):7-17.
- [3] Hallmark W B, Barber S A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of early growth of soybeans as affected by soil P and K [J]. Agronomy Journal, 1984, 76(2):209-212.
- [4] Somerville C, Briscoe J. Genetic engineering and water [J]. Science, 2001, 292(5525):2217.
- [5] Steudle E. Water transport across roots [J]. Plant and Soil, 1994, 167:79-90.
- [6] Yamaguchi M, Sharp R E. Complexity and coordination of root growth at low water potentials; recent advances from transcriptomic and proteomic analyses [J]. Plant, Cell and Environment, 2010, 33(4):590-603.
- [7] He J, Du Y L, Wang T, et al. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought [J]. Agricultural Water Management, 2017, 179:236-245.
- [8] Tran L S P, Mochida K. Functional genomics of soybean for improvement of productivity in adverse conditions [J]. Functional and Integrative Genomics, 2010, 10(4):447-462.
- [9] Thao N P, Tran L S P. Potentials toward genetic engineering of drought-tolerant soybean [J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2012, 32:349-362.
- [10] Son C K, Park S G, Kim C Y, et al. Effects of water stress on growth characteristics and grain yield of soybean [J]. RDA Journal of Agricultural Science (Korea Republic), 1997, 38(2):123-128.
- [11] 李文滨, 宋春晓, 裴兴超, 等. 干旱胁迫下 20 个大豆品种抗旱性评价[J]. 东北农业大学学报, 2019, 5(14):1-9.
- [12] 谭春燕, 杨文钰, 陈佳琴, 等. 干旱胁迫下大豆种质资源的生理响应及抗旱性评价[J]. 分子植物育种, 2020, 18(4):1349-1356.
- [13] 祁旭升, 刘章雄, 关荣霞, 等. 大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究[J]. 作物学报, 2012, 38(4):665-674.
- [14] 王兴荣, 张彦军, 苟作旺, 等. 大豆种质资源抗旱性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5):17-23, 40.
- [15] 赵振宁, 赵宝懿. 不同大豆品种在萌发期对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2):131-136.
- [16] 闫春娟, 王文斌, 曹永强, 等. 不同耐旱型大豆生理特性对不同降雨条件的响应[J]. 大豆科学, 2018, 37(3):359-365.
- [17] Pantalone V R, Rebetzke G J, Burton J W, et al. Soybean PI 416937 root system contributes to biomass accumulation in reciprocal grafts [J]. Agronomy Journal, 1999, 91(5):840-844.
- [18] Ookawa T, Nishiyama M, Takahiro J, et al. Analysis of the factors causing differences in the leaf-senescence pattern between two soybean cultivars, Enrei and Tachinagaha; comparison of root length and exudation rate among grafted plants [J]. Plant Production Science, 2001, 4(1):3-8.
- [19] Kokubun M, Shimada S, Takahashi M. Flower abortion caused by pre-anthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean [J]. Crop Science, 2001, 41(5):1517-1521.
- [20] Liu F L, Jensen C R, Andersen M N. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development; its implication in altering pod set [J]. Field Crops Research, 2004, 86(1):1-13.
- [21] Ries L L, Purcell L C, Carter T E, et al. Physiological traits contributing to differential canopy wilting in soybean under drought [J]. Crop Science, 2012, 52(1):272-281.
- [22] Fenta B A, Driscoll S P, Kunert K J, et al. Characterization of drought-tolerance traits in nodulated soya beans: The importance of maintaining photosynthesis and shoot biomass under drought-induced limitations on nitrogen metabolism [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2012, 198(2):92-103.