



基于顶生花序长度的大豆种质资源筛选及其与产量性状的关系研究

张金昊, 刘雅婧, 张鑫生, 雷 硕, 李景文, 闫 帆, 王庆钰, 王 英

(吉林大学 植物科学学院, 吉林 长春 130062)

摘 要:为明确大豆种质资源顶生花序长度性状的变异及其与产量关系,本研究以 292 份大豆品种(系)为材料,调查顶生花序长度性状;并以其中的 109 份品系为材料,调查顶生花序的荚数、有效荚数、有效荚比例、粒数、粒重和百粒重,以及单株产量、单株粒重、单株百粒重等单株产量性状,分析表型性状变异幅度,并进行相关及主成分分析。结果表明:表型分析中,顶生长轴、中轴、短轴花序的品(种)系分别占总材料的 1.37%、35.62% 和 63.01%,除单株粒重及顶生花序有效荚比例以外,其它性状变异幅度较大,说明这些性状遗传变异广泛。相关性分析表明,顶生花序长度与产量性状均存在显著正相关关系。主成分分析鉴定到 4 个主成分贡献于单株产量,累积贡献率达到 87.32%,其中顶生花序长度、顶生花序结荚数、顶生花序粒数、单株粒数作为第一主成分共同贡献方差变异的 42.78%。综上,大豆顶生花序长度对产量具有重要作用。

关键词:大豆; 顶生花序长度; 产量; 相关性; 主成分分析

Screening of Soybean Germplasm Resources Based on Terminal Raceme Length and Its Relationship with Yield Traits

ZHANG Jin-hao, LIU Ya-jing, ZHANG Xin-sheng, LEI Shuo, LI Jing-wen, YAN Fan, WANG Qing-yu, WANG Ying

(Plant Science College, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: In order to clarify the variation and impact of terminal raceme length on the yield in soybean germplasm resources, in this study, 292 soybean accessions with terminal raceme were used as materials to screen excellent germplasm resources of long raceme. Terminal raceme length, the pods number, effective pods, ratio of effective pods and total pods, 100-seed weight, seed number of terminal raceme, and seed number, seed weight and 100-seed weight per plant were investigated based on 109 accessions. The results of phenotypic analysis showed that long, middle, and short terminal raceme lines accounted for 1.37%, 35.62% and 63.01% of the total test materials, respectively. Researched traits had a large range of variation, indicated that these traits had a wide range of genetic variation except seed weight per plant and the effective pod ratio of the terminal raceme. Correlation analysis showed that there were significant positive correlation between terminal raceme length and yield traits. The principal component analysis identified four principal components that contributed to the yield per plant, and the cumulative contribution rate was 87.32%. Among them, the length of the terminal raceme, pods number of terminal raceme and per plant, seeds number per plant, as the first principal component, contributed 42.78% of the variance of the variance. In summary, the length of the terminal raceme of soybean had an important effect on the yield of soybean varieties with terminal raceme. These research results will provide some useful information for soybean high yield breeding.

Keywords: Soybean; Terminal raceme length; Yield; Correlation analysis; Principle component analysis

花序长度是植物株型性状之一,与植株产量、产量稳定性、栽培方式等密切相关^[1-2]。根据花序生长部位的不同分为腋生花序和顶生花序。花序轴从基部至顶端的长度被定义为花序长度^[3],根据花序长度是否>1 cm,可将腋生花序分成无花序轴类型和有花序轴类型^[4]。根据小花基部是否有可辨的叶状物把顶生花序分成了无花序轴类型和有花序轴类型^[3]。大豆的花序属于无限花序类型中的总状花序,有花序轴的大豆材料根据花序长度可

以分为 3 种类型:长轴(>10 cm)、中轴(3~10 cm)和短轴(0.5~3.0 cm)^[5]。

在大豆种质资源中,顶生花序长度性状存在丰富的遗传变异,长花序类型材料的顶生花序长度最长可达 35 cm^[6]。但在种质资源中,顶生花序长度>10 cm 的材料并不丰富,盖钧镒等^[7]从南方约 8 000 份资源中只筛选到 8 份长花序材料,而短轴和中轴的资源所占比例较高。谢甫绶等^[8]认为在品种选育上,花序长度>3 cm,即为长花序品种。

收稿日期:2020-02-27

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0101304);吉林省科技发展计划(20180201030NY);吉林省大豆产业技术体系(20180101);2019 年吉林省大学生创新创业项目(20190101)。

第一作者简介:张金昊(1998-),男,学士,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:1043785417@qq.com。

通讯作者:王英(1976-),女,博士,副教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:wangying2009@jlu.edu.cn。

较长花序可为花荚提供更多的着生位置及更合理的空间排布。研究表明,大豆花序长度与开花数目高度正相关,与结荚数呈一定程度正相关^[9-10],因此,长花序是大豆多花多荚的重要基础。中国育种家也育成了许多高产优质的长花序品种,如凤交66-12^[6]、丹豆5号^[11]和连豆1号^[12]等。且较长花序有利于增加大豆的适应性和抗逆性,保证大豆高产稳产^[13]。

本研究调查了292份具有顶生花序的大豆品种(系)的花序长度,并分析了花序长度性状与产量性状的相关性及其对单株产量的贡献,以期为大豆高产育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料均为具有顶生花序的大豆品种(系),由吉林大学植物科学学院提供。292个品(种)系中,有236份来源于吉林,41份来源于黑龙江,15份来源于黄淮地区的陕西、河北、北京、山东和湖南等。供试品(种)系名称及花序长度详见表1。

1.2 试验设计

供试材料中109份材料于2017年5月4日种植,183份材料于2018年5月4日种植,种植地点均为吉林省长春市吉林大学植物科学学院教学与科研实验实习基地,大豆行长5 m,行距65 cm,株距12.5 cm。田间管理同当地大田管理,材料完熟后收获,每个品系取5株调查表型。

1.3 测定项目与方法

分别于大豆成熟期调查顶生花序长度、顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数、顶生花序成荚比例、顶生花序粒数、顶生花序粒重、顶生花序百粒重、株高、单株粒重、单株粒数以及单株百粒重,其中,顶生花序成荚比例(%)=顶生花序有效结荚数/顶生花序结荚数×100。

1.4 数据分析

采用Excel 2010软件进行标准差及平均数等统计数的计算,利用SPSS 21.0软件进行相关性分析及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 顶生花序长度

由表1可知,供试材料的顶生花序长度平均为2.98 cm,最长15.00 cm,最短0.95 cm,变异系数为52.01%,说明供试材料在该性状上存在广泛变异。筛选到4份顶生花序长度>10.00 cm的品系,即长花序的品系,占供试材料的1.37%。其中大豆品种科丰14的顶生花序长度最长,为15.00 cm,其次为通大粒、通90-397和吉育80,顶生花序长度分别为11.86,11.25和10.57 cm。筛选到顶生花序长度为3.00~10.00 cm的品系有104份,占供试材料总数的35.62%;筛选到顶生花序长度<3.00 cm的品系有184份,占供试材料总数的63.01%(表1),表明供试材料的顶生花序以中轴及短轴为主。

表1 292份大豆品种(系)的顶生花序长度
Table 1 The terminal raceme length of 292 soybean varieties (lines) (cm)

| 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL |
|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 吉引226 | 1.25 | 14 | C09-1 | 1.89 | 27 | 公交9107-1-1 | 2.20 |
| 2 | 91RD-52 | 1.37 | 15 | 公野8839-16 | 1.95 | 28 | 03-5002 | 2.20 |
| 3 | 92216-16 | 1.50 | 16 | 35065 | 1.99 | 29 | 绥小粒豆 | 2.20 |
| 4 | 99-4041 | 1.56 | 17 | Y56 | 2.02 | 30 | 九90-3 | 2.21 |
| 5 | 03引17 | 1.56 | 18 | 九交9266-8 | 2.04 | 31 | 九91-4 | 2.22 |
| 6 | 85164-92-2 | 1.63 | 19 | 07-5123 | 2.06 | 32 | 9114431 | 2.23 |
| 7 | 九91-12 | 1.70 | 20 | 吉大引-1 | 2.06 | 33 | 吉育75 | 2.25 |
| 8 | 长8421-1 | 1.77 | 21 | 2531164 | 2.10 | 34 | 97-4107 | 2.26 |
| 9 | 90208-114 | 1.78 | 22 | 九交9245-8 | 2.12 | 35 | 公野85104-11 | 2.30 |
| 10 | 九8727-1 | 1.80 | 23 | 88166-37 | 2.14 | 36 | 85164-32-2 | 2.30 |
| 11 | 长8515-8 | 1.83 | 24 | 中国扁茎-1 | 2.16 | 37 | 淡绿皮鞍挂 | 2.31 |
| 12 | 99-5060 | 1.88 | 25 | 07-5142 | 2.17 | 38 | 96-1621 | 2.32 |
| 13 | 98-4032 | 1.89 | 26 | 公交91123-19 | 2.18 | 39 | 合丰52 | 2.33 |

续表 1

| 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL |
|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| 40 | 90208-53 | 2. 34 | 84 | 丰交 7607 | 3. 37 | 128 | 吉农 8316-760 | 1. 77 |
| 41 | 99-4018 | 2. 35 | 85 | 公交 90136-1 | 3. 43 | 129 | 合丰 1 号 | 1. 77 |
| 42 | 长农 5 | 2. 36 | 86 | 03-5037 | 3. 48 | 130 | 07-5156 | 1. 77 |
| 43 | 07-5138 | 2. 38 | 87 | 07-5089 | 3. 52 | 131 | 九农 29 | 1. 80 |
| 44 | 无名 2 | 2. 38 | 88 | 长 8626-5-5 | 3. 57 | 132 | 九 91-5 | 1. 80 |
| 45 | 2523097 | 2. 39 | 89 | 公交 94-1337 | 3. 63 | 133 | 吉交 9827-26 | 1. 80 |
| 46 | 07-4115 | 2. 40 | 90 | 07-5154 | 3. 67 | 134 | 阜杂交豆 1 号 | 1. 80 |
| 47 | 长 8421-12-1-8 | 2. 53 | 91 | 西安嘟噜豆 | 3. 74 | 135 | K 丰 73-1 | 1. 80 |
| 48 | 九交 9231-9 | 2. 55 | 92 | 吉豆 3 号 | 3. 76 | 136 | DL04-6189 | 1. 80 |
| 49 | 公 NE9035B-1-3 | 2. 56 | 93 | 吉新豆 1 号 | 3. 80 | 137 | 88448-105 | 1. 80 |
| 50 | 2526385 | 2. 57 | 94 | 青豆 4 | 3. 83 | 138 | 8347-26 | 1. 83 |
| 51 | 97-5169 大粒 | 2. 58 | 95 | 长 B-96-41 | 3. 86 | 139 | 铁 9809-2-1 | 1. 87 |
| 52 | 公野 88-4-1 | 2. 58 | 96 | Y56 | 3. 98 | 140 | 吉交 9384-12 | 1. 87 |
| 53 | 01-6134 | 2. 59 | 97 | 8113 | 4. 03 | 141 | Liu 小粒豆 | 1. 87 |
| 54 | 03-4035 | 2. 59 | 98 | 九 8604-2 | 4. 07 | 142 | 05-QY-5 | 1. 87 |
| 55 | 长 8402-3 | 2. 60 | 99 | 吉大 102 | 4. 24 | 143 | 吉交 9827-10 | 1. 90 |
| 56 | 99-5122 | 2. 60 | 100 | 通 90-426 | 4. 33 | 144 | 05QY-18 | 1. 90 |
| 57 | Z33 | 2. 60 | 101 | 中国扁茎-2 | 4. 34 | 145 | 长交 93-4 | 1. 93 |
| 58 | 85164 | 2. 63 | 102 | 98-4009 | 4. 64 | 146 | 绥农 20 | 1. 97 |
| 59 | 通 93-2188 | 2. 69 | 103 | 98-5077 | 4. 64 | 147 | 绥 00-1036 | 1. 97 |
| 60 | 99-5120 | 2. 74 | 104 | 吉引 291 | 5. 13 | 148 | 公交 90202-70 | 2. 00 |
| 61 | 吉农 8706-438 | 2. 74 | 105 | 92211-10 | 5. 16 | 149 | 98-4032 | 2. 00 |
| 62 | 长农 10 号 | 2. 76 | 106 | 99-4249 | 5. 81 | 150 | 09ZQ11 | 2. 00 |
| 63 | 通农 13 | 2. 77 | 107 | 吉育 80 | 10. 57 | 151 | 07-5235 | 2. 00 |
| 64 | 89153-23 | 2. 78 | 108 | 通 90-397 | 11. 25 | 152 | 05QY-17 | 2. 03 |
| 65 | 00-6007 | 2. 82 | 109 | 通大粒 | 11. 86 | 153 | 02-5140 | 2. 03 |
| 66 | 89103-34 | 2. 83 | 110 | 02-6095 | 0. 95 | 154 | 2496799 | 2. 03 |
| 67 | 黑农 54 | 2. 87 | 111 | 中黄 13 | 1. 10 | 155 | 绥 02-336 | 2. 07 |
| 68 | 03-5038 | 2. 90 | 112 | 齐黄 7588 | 1. 27 | 156 | 公 8969-6 | 2. 13 |
| 69 | 99-4293 | 3. 01 | 113 | 吉育 91 | 1. 30 | 157 | 95-413 | 2. 13 |
| 70 | 吉大 103 | 3. 07 | 114 | 吉育 72 | 1. 30 | 158 | 92215-25 | 2. 13 |
| 71 | Z130 | 3. 09 | 115 | 新兴 1 号 | 1. 33 | 159 | 05Y-2 | 2. 13 |
| 72 | 公 89RD-109 | 3. 16 | 116 | 吉育 75 | 1. 35 | 160 | 05-QY-8 | 2. 13 |
| 73 | 绥农 24 | 3. 19 | 117 | YS04-5006 | 1. 40 | 161 | 早选 92-46 | 2. 17 |
| 74 | 吉大 116 | 3. 20 | 118 | DL04-4097 | 1. 50 | 162 | 垦丰 10 号 | 2. 17 |
| 75 | 06-引 1 | 3. 23 | 119 | DN05-32316 | 1. 60 | 163 | 生 B-92-2 | 2. 20 |
| 76 | 2348024 | 3. 26 | 120 | DL97-5170 | 1. 60 | 164 | 公 9209-8 | 2. 20 |
| 77 | 07-5012 | 3. 27 | 121 | 2530799 | 1. 60 | 165 | 07-5157 | 2. 20 |
| 78 | 89DF4 | 3. 27 | 122 | 吉育 74 | 1. 73 | 166 | YS03-3081 | 2. 23 |
| 79 | 九交 9193-12 | 3. 28 | 123 | 吉育 508 | 1. 73 | 167 | 05-Q-12 | 2. 23 |
| 80 | 88169 | 3. 29 | 124 | YS02-6001 | 1. 73 | 168 | 05-Q-11 | 2. 23 |
| 81 | 88138-145 | 3. 29 | 125 | 99-5067 | 1. 73 | 169 | 04-5023 | 2. 25 |
| 82 | 03-4068 | 3. 32 | 126 | 2542456 | 1. 73 | 170 | 绥农 21 | 2. 27 |
| 83 | 长 B96-41 | 3. 34 | 127 | 绥 98-336 | 1. 77 | 171 | 吉 47 | 2. 27 |

续表 1

| 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL | 序号 Serial number | 品种(系) Variety (line) | 顶生花 序长度 TRL |
|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| 172 | 东农 48 | 2. 27 | 213 | 长农 16 | 2. 80 | 254 | 05-QY-9 | 3. 43 |
| 173 | 91203-100 | 2. 27 | 214 | 垦丰 16 | 2. 80 | 255 | Hardin | 3. 47 |
| 174 | 垦丰 11 | 2. 30 | 215 | 大粒王 201 | 2. 80 | 256 | 通 93-1982 | 3. 50 |
| 175 | 88118-11 | 2. 30 | 216 | 98-226 | 2. 80 | 257 | 黑农 49 | 3. 50 |
| 176 | 07-5178 | 2. 30 | 217 | 88134-6-2 | 2. 80 | 258 | 806-1 | 3. 50 |
| 177 | 绥农 19 | 2. 33 | 218 | 07-7079 | 2. 80 | 259 | 02-5105 | 3. 50 |
| 178 | 东农 1168 | 2. 33 | 219 | 吉早 1057 | 2. 83 | 260 | 07ZQ12 | 3. 65 |
| 179 | 长 B96-5 | 2. 37 | 220 | 吉引 97-3 | 2. 83 | 261 | 90117-12 | 3. 83 |
| 180 | 合交 0269 | 2. 37 | 221 | 冀 06139 | 2. 83 | 262 | 98-4076 | 3. 87 |
| 181 | 08-Y489 | 2. 45 | 222 | 吉育 47 | 2. 83 | 263 | 绥农 18 | 3. 93 |
| 182 | 稀植 2 号 | 2. 47 | 223 | D32151 | 2. 83 | 264 | 04-7008 | 4. 00 |
| 183 | 东大 1 号 | 2. 47 | 224 | 05Q11 | 2. 87 | 265 | 东农 89-836 | 4. 03 |
| 184 | 绥农 14 | 2. 50 | 225 | 合 99-718 | 2. 90 | 266 | W01155 | 4. 03 |
| 185 | 合丰 52 | 2. 50 | 226 | YS03-3035 | 2. 90 | 267 | 吉育 86 | 4. 13 |
| 186 | 东农 01-1215 | 2. 50 | 227 | 舒兰引混 | 2. 93 | 268 | 垦农 8 | 4. 20 |
| 187 | Z26 | 2. 50 | 228 | 05-QY-7 | 2. 93 | 269 | 合丰 51 | 4. 20 |
| 188 | 94RD6-5 | 2. 50 | 229 | 09ZQ3 | 3. 00 | 270 | 东农 47 | 4. 27 |
| 189 | 90201-16 | 2. 50 | 230 | 05-QY-9 | 3. 03 | 271 | 吉育 94 | 4. 30 |
| 190 | 07-5233 | 2. 50 | 231 | 长交 93-1 | 3. 07 | 272 | 07YS-5198 | 4. 30 |
| 191 | 枫木箭 | 2. 53 | 232 | Z28CY56 | 3. 07 | 273 | 早 1466 | 4. 53 |
| 192 | 05QY-3 | 2. 53 | 233 | 8502 | 3. 07 | 274 | 哈 88-1 | 4. 67 |
| 193 | 04-6189 | 2. 55 | 234 | 绥农 19 | 3. 10 | 275 | 中作 05-15 | 4. 80 |
| 194 | 意 3 | 2. 57 | 235 | 绥农 11 | 3. 10 | 276 | 垦农 5 号 | 4. 93 |
| 195 | 垦鉴 23 | 2. 57 | 236 | 黑农 46 | 3. 10 | 277 | 中黄 27 | 4. 95 |
| 196 | 合丰 48 | 2. 60 | 237 | 吉林 40 | 3. 17 | 278 | 丰地黄 | 5. 00 |
| 197 | 05Q9 | 2. 60 | 238 | 04-312 | 3. 17 | 279 | 早熟 5 号 | 5. 17 |
| 198 | 紫华豆 | 2. 67 | 239 | 吉农 8551-3322 | 3. 20 | 280 | 黑农 48 | 5. 17 |
| 199 | 绥农 18 | 2. 67 | 240 | 07YS-5178 | 3. 20 | 281 | 延交 8414 | 5. 37 |
| 200 | DL04-4097 | 2. 67 | 241 | 07-7038 | 3. 20 | 282 | 95-3060 | 5. 40 |
| 201 | 7622-4-1-4 | 2. 67 | 242 | 垦 99-5187 | 3. 23 | 283 | 黑农 - 882460 | 5. 67 |
| 202 | 05J2920102 | 2. 67 | 243 | Y56 | 3. 23 | 284 | 冀黄 105 | 5. 73 |
| 203 | 2530799 | 2. 67 | 244 | 08-4437 | 3. 23 | 285 | 05Y-4 | 5. 77 |
| 204 | 07-5292 | 2. 70 | 245 | 早选 92-46 | 3. 27 | 286 | 88134-6-6 | 5. 93 |
| 205 | 合丰 51 | 2. 73 | 246 | 九 8704-2-1 | 3. 27 | 287 | 中黄 37 | 6. 20 |
| 206 | 东农 86-432 | 2. 73 | 247 | 哈平原引 1 号 | 3. 27 | 288 | 湘春豆 11 | 6. 23 |
| 207 | DL04-6284 | 2. 73 | 248 | 绥 14-3 | 3. 30 | 289 | 09ZQ10 | 6. 25 |
| 208 | D88-99 | 2. 73 | 249 | 长农 7 号 | 3. 33 | 290 | 光育 54 | 8. 00 |
| 209 | 09ZQ2 | 2. 75 | 250 | 合丰 43 | 3. 33 | 291 | 07-5283 | 8. 10 |
| 210 | 07-7033 | 2. 75 | 251 | 绥化早熟 | 3. 40 | 292 | 科丰 14 | 15. 00 |
| 211 | 8604-121 | 2. 77 | 252 | 公交 97132-1 | 3. 40 | | | |
| 212 | 03-5029 | 2. 77 | 253 | 沧豆 5 号 | 3. 40 | | | |

序号 1 ~ 109 的品种(系) 于 2017 年种植; 序号 110 ~ 292 的品种(系) 于 2018 年种植。
The varieties (lines) of 1-109 were planted in 2017; The varieties (lines) of 110-292 were planted in 2018; TRL: Terminal raceme length.

2.2 顶生花序产量性状及单株产量性状的表型分析

2.2.1 变异系数 按顶生花序长度 >10 cm,3~10 cm,<3 cm 的标准将 2017 年种植的 109 份有限结荚习性大豆品种(系)分为长、中、短轴花序 3 种类型。由表 2 可知,除顶生花序成荚比例、单株粒重性状的变异系数较小(<4.00%)以外,其它性状的变异幅度较大,从大到小依次为顶生花序长度>顶生花序粒数>顶生花序粒重>顶生花序结荚数>顶生花序有效结荚数>单株粒数>单株百粒重>顶生花序百粒重,说明这些性状存在着广泛的遗传变异。变异系数最小为顶生花序成荚比例,为 3.93%,说明供试材料顶生花序成荚率较高。进一步分析发现,共有 79 份品系顶生花序有效结荚比率为

100%,说明顶生花序的营养供应良好,有利于籽粒的发育,而且长轴和中轴花序的有效结荚比率高于短轴。可能的原因为短轴的荚所处位置集中,花荚密集,通风、透光及营养供应不足导致。

2.2.2 不同长度花序类型分析 对 3 种类型的顶生花序长度及产量相关性状进行统计分析。结果表明,所有调查性状的平均值均表现出长轴>中轴>短轴的规律,说明较长顶生花序轴更有利于产量的积累。通过分析顶生花序粒重与单株粒重的比值发现顶生花序粒重的平均值占单株粒重平均值的 12.46%;对于长、中长、短轴花序类型而言,顶生花序粒重的平均值占单株粒重平均值的 13.27%、13.90% 和 11.48%。3 种类型的顶生花序百粒重均低于单株百粒重,但差异较小(表 2)。

表 2 109 份大豆品种(系)顶生花序长度及产量性状的表型分析

Table 2 Phenotypic statistical analysis of terminal raceme length and yield traits in soybean

| 性状 Trait | 花序长度 TRL/cm | 平均值 ± 标准差 Mean ± SD | 最大值 Max. | 最小值 Min. | 变异系数 CV/% |
|-----------------|----------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|
| 顶生花序长度 TRL | 总体 Total | 3.02 ± 1.64 | 11.86 | 1.25 | 54.15 |
| | >10 | 11.23 ± 0.65 a | 11.86 | 10.57 | 5.75 |
| | 3~10 | 3.74 ± 0.65 b | 5.81 | 3.01 | 17.40 |
| | <3 | 2.25 ± 0.39 c | 2.90 | 1.25 | 17.18 |
| 顶生花序结荚数 PNTR | 总体 Total | 8.35 ± 2.35 | 15.50 | 3.33 | 28.12 |
| | >10 | 13.06 ± 3.54 a | 15.50 | 9.00 | 27.09 |
| | 3~10 | 9.78 ± 2.18 b | 15.00 | 6.25 | 22.28 |
| | <3 | 7.35 ± 1.65 c | 11.25 | 3.33 | 22.50 |
| 顶生花序有效结荚数 EPNTR | 总体 Total | 8.22 ± 2.31 | 15.50 | 3.33 | 28.07 |
| | >10 | 13.06 ± 3.54 a | 15.50 | 9.00 | 27.09 |
| | 3~10 | 9.58 ± 2.09 b | 15.00 | 6.25 | 21.85 |
| | <3 | 7.24 ± 1.64 c | 10.75 | 3.33 | 22.70 |
| 顶生花序成荚比例 RETR | 总体 Total | 0.98 ± 0.04 | 1.00 | 0.76 | 3.93 |
| | >10 | 1.00 ± 0.00 a | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| | 3~10 | 0.98 ± 0.03 a | 1.00 | 0.86 | 3.27 |
| | <3 | 0.99 ± 0.04 a | 1.00 | 0.76 | 4.34 |
| 顶生花序粒数 SNTR | 总体 Total | 20.22 ± 6.46 | 39.60 | 6.67 | 31.94 |
| | >10 | 27.44 ± 6.89 a | 31.50 | 19.50 | 25.07 |
| | 3~10 | 24.53 ± 6.91 a | 39.60 | 11.80 | 28.15 |
| | <3 | 17.50 ± 4.37 b | 28.25 | 6.67 | 25.00 |

续表 2

| 性状 Traits | 花序长度 TRL/cm | 平均值 ± 标准差 Mean ± SD | 最大值 Max. | 最小值 Min. | 变异系数 CV/% |
|---------------|----------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|
| 顶生花序粒重 SWTR | 总体 Total | 4.27 ± 1.36 | 8.93 | 1.38 | 31.83 |
| | > 10 | 6.18 ± 0.50 a | 6.76 | 5.88 | 8.12 |
| | 3 ~ 10 | 5.16 ± 1.39 a | 8.93 | 2.83 | 27.02 |
| | < 3 | 3.69 ± 0.97 b | 5.71 | 1.38 | 26.34 |
| 顶生花序百粒重 HSWTR | 总体 Total | 21.30 ± 3.04 | 34.67 | 12.61 | 14.27 |
| | > 10 | 24.06 ± 9.19 a | 34.67 | 18.75 | 38.20 |
| | 3 ~ 10 | 21.32 ± 2.60 a | 26.16 | 14.28 | 12.20 |
| | < 3 | 21.17 ± 2.88 a | 26.97 | 12.61 | 13.59 |
| 单株粒重 SWPP | 总体 Total | 34.28 ± 8.32 | 64.09 | 10.64 | 3.30 |
| | > 10 | 46.59 ± 8.85 a | 46.30 | 37.90 | 18.98 |
| | 3 ~ 10 | 37.13 ± 9.60 b | 64.09 | 51.00 | 25.85 |
| | < 3 | 32.15 ± 6.52 b | 50.33 | 18.01 | 20.27 |
| 单株百粒重 HSWPP | 总体 Total | 21.36 ± 3.10 | 34.68 | 12.61 | 14.50 |
| | > 10 | 24.07 ± 9.19 a | 34.68 | 18.53 | 38.17 |
| | 3 ~ 10 | 21.33 ± 2.76 a | 26.67 | 14.21 | 12.96 |
| | < 3 | 21.26 ± 2.89 a | 28.45 | 12.61 | 13.61 |
| 单株粒数 SNPP | 总体 Total | 161.57 ± 36.74 | 300.00 | 51.00 | 22.74 |
| | > 10 | 210.94 ± 83.86 a | 300.00 | 133.50 | 39.75 |
| | 3 ~ 10 | 174.50 ± 39.22 b | 245.75 | 10.64 | 22.47 |
| | < 3 | 152.16 ± 28.69 b | 225.00 | 102.33 | 18.85 |

不同小写字母表示 $P \leq 0.05$ 水平差异显著。下同。
Different lowercase indicates there is significant difference at $P \leq 0.05$ level. TRL: Terminal raceme length; PNTR: Pod number of terminal raceme; EPNTR: Effective pod number of terminal raceme; RETR: The ratio of effective pods number and total pods number of terminal raceme; SNTR: Seed number of terminal raceme; SWTR: Seed weight of terminal raceme; HSWTR: 100-seed weight of terminal raceme; SWPP: Seed weight per plant; HSWPP:100-seed weight per plant; SNPP: Seed number per plant. The same below.

2.3 顶生花序长度与产量性状的相关性分析

由表 3 可知,顶生花序长度与顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数及顶生花序粒数及顶生花序粒重均呈极显著正相关。其中,与顶生花序的结荚数、有效结荚数、花序粒数、花序粒重的相关系数在 0.45 以上。顶生花序长度与单株产量性状中单株粒数和单株粒重极显著正相关,相关系数分别为 0.377 和 0.434。顶生花序长度与花序百粒重及单株百粒重显著正相关性。

2.4 单株产量的主成分分析

为进一步说明顶生花序长度对单株产量的贡献,本研究对顶生花序及单株产量相关性状进行了主成分分析,结果表明,4 个主成分的特征值 > 1,且

累积贡献率达到 87.32%,确定这 4 个主成分为产量的主要贡献因子。第 1 主成份的贡献率为 42.78%,起主要作用的性状有顶生花序长度、顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数、顶生花序粒数、单株粒数。第 2 主成份的贡献率为 21.93%,起主要作用的性状有顶生花序百粒重及单株百粒重;第 3 主成份的贡献率为 11.70%,起主要作用的性状为株高;第 4 主成份的贡献率为 10.91%,起主要作用的性状是顶生花序成荚比例。由此推断,在供试品种(系)的产量影响因子中,顶生花序长度、顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数、顶生花序粒数、单株粒数的贡献最大,百粒重、株高及顶生花序结荚比例次之(表 4)。

表 3 大豆顶生花序长度与重要农艺性状间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between terminal raceme length and agronomic traits in soybean

| 性状 Trait | 顶生花序 长度 TRL | 顶生花序 结荚数 PNTR | 顶生花序 有效结荚 数 EPNTR | 顶生花序 成荚比例 RETR | 顶生花 序粒数 SNTR | 顶生花 序粒重 SWTR | 顶生花序 百粒重 HSWTR | 单株粒数 SNPP | 单株 百粒重 HSWPP | 单株粒重 SWPP |
|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------|
| 顶生花序长度 TRL | 1 | | | | | | | | | |
| 顶生花序结荚数 PNTR | 0.586 ** | 1 | | | | | | | | |
| 顶生花序有效结荚数 EPNTR | 0.594 ** | 0.990 ** | 1 | | | | | | | |
| 顶生花序成荚比率 RETR | 0.016 | -0.094 | 0.044 | 1 | | | | | | |
| 顶生花序粒数 SNTR | 0.461 ** | 0.900 ** | 0.906 ** | 0.004 | 1 | | | | | |
| 顶生花序粒重 SWTR | 0.528 ** | 0.823 ** | 0.828 ** | 0.001 | 0.890 ** | 1 | | | | |
| 顶生花序百粒重 HSWTR | 0.198 * | -0.113 | -0.114 | 0.007 | -0.195 * | 0.257 ** | 1 | | | |
| 单株粒数 SNPP | 0.377 ** | 0.443 ** | 0.421 ** | -0.185 | 0.380 ** | 0.279 ** | -0.208 * | 1 | | |
| 单株百粒重 HSWPP | 0.192 * | -0.118 | -0.117 | 0.023 | -0.211 * | 0.235 * | 0.987 ** | -0.209 * | 1 | |
| 单株粒重 SWPP | 0.434 ** | 0.330 ** | 0.309 ** | -0.156 | 0.219 * | 0.397 ** | 0.394 ** | 0.800 ** | 0.405 ** | 1 |

* 和 ** 分别表示在 $P\leq0.05$ 水平和 $P\leq0.01$ 水平差异显著。下同。

* and ** indicates there is significant difference at $P\leq0.05$ and $P\leq0.01$ level. The same below.

表 4 不同指标的主成分分析

Table 4 Principal component analysis on different indicators

| 指标 Test indicator | 主成分 I Main factor I | | 主成分 II Main factor II | | 主成分 III Main factor III | | 主成分 IV Main factor IV | |
|---|------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| | 成分 Component | 成分系数 Coefficient | 成分 Component | 成分系数 Coefficient | 成分 Component | 成分系数 Coefficient | 成分 Component | 成分系数 Coefficient |
| | | | | | | | | |
| 顶生花序长度 TRL | 0.689 | 0.162 | 0.272 | 0.148 | 0.123 | 0.129 | -0.052 | -0.018 |
| 顶生花序结荚数 PNTR | 0.961 | 0.222 | -0.121 | -0.048 | -0.032 | -0.051 | -0.098 | -0.048 |
| 顶生花序有效结荚数 EPNTR | 0.969 | 0.229 | -0.122 | -0.051 | -0.027 | -0.039 | 0.035 | 0.077 |
| 顶生花序成荚比例 RETR | 0.023 | 0.048 | 0.003 | -0.020 | 0.032 | 0.082 | 0.967 | 0.903 |
| 顶生花序粒数 SNTR | 0.931 | 0.219 | -0.210 | -0.094 | -0.036 | -0.056 | 0.029 | 0.072 |
| 顶生花序粒重 SWTR | 0.908 | 0.218 | 0.238 | 0.113 | -0.069 | -0.041 | 0.027 | 0.055 |
| 顶生花序百粒重 HSWTR | -0.001 | 0.010 | 0.990 | 0.456 | -0.075 | 0.034 | 0.007 | -0.022 |
| 株高 PH | -0.172 | -0.041 | -0.050 | 0.061 | 0.892 | 0.789 | 0.118 | 0.153 |
| 单株粒数 SNPP | 0.469 | 0.090 | -0.175 | -0.010 | 0.582 | 0.473 | -0.354 | -0.272 |
| 单株百粒重 HSWPP | -0.012 | 0.008 | 0.988 | 0.456 | -0.067 | 0.041 | 0.020 | -0.010 |
| 累积贡献率 Cumulative contribution rate/% | 42.783 | 64.714 | 76.409 | 87.319 | | | | |
| 方差贡献率 Variance contribution rate/% | 42.783 | 21.931 | 11.695 | 10.910 | | | | |

3 讨论

大豆的结实器官分布在大豆各节位的腋生花序及茎顶端的顶生花序上,而花序轴是花荚着生的部位,较长花序轴可为花荚提供更多的着生位置及更合理的空间排布。本研究发现,长轴、中轴和短轴顶生花序粒重的平均值分别占单株粒重平均值的13.27%、13.90%和11.48%,且中轴>长轴>短轴,相似的规律发现于单株产量,说明较长顶生花序更有利于单株产量的积累。同时,顶生花序轴上的有效结荚比率平均为98%,说明顶生花序营养供应充足,有利于籽粒的形成,进而提高产量。另外,虽然顶生花序的百粒重<单株百粒重,但相差甚微,相关和主成分分析也表明,在具有顶生花序材料类型中,百粒重对于单株产量的贡献较小。由此推断,顶生花序有利于产量的积累。分析其可能原因,一是大豆营养供应采取就近原则^[14],而顶生花序的能量主要源于上部叶片,能够接受到足够的光照,与此同时,上部通风条件也相对较好,有利于叶片光合作用,积累更多的干物质,缓解落花落荚,进而提高单株生产力及产量^[6,15];二是较长的花序本身具有光合能力,可更多的积累光合产物;三是顶端花序发育时,营养生长已停止,降低了营养生长和生殖生长对营养的竞争,从而降低了花荚脱落率,利于籽粒的形成^[16]。本研究为利用顶生花序的特异性状来扩大产量形成空间,进而实现高产的育种方案^[17]提供了理论参考。

本研究中大豆花序长度性状存在着广泛的遗传变异,最长可达35 cm。但长轴的材料并不多,盖钧镒等^[7]从约8 000份资源中只筛选到8份具有长花序特性的材料。本研究在292份材料中筛选到4份长花序材料,比例高于前人的研究结果,可能是环境条件影响了大豆花序的形成。盖钧镒等^[7]证实,凤交66-12在南方早春播中表现为长花序,但长度短于辽宁省,而在晚春播或夏播时则不表现长花序特性,同时,花序的形成受光周期的调节^[18-20]。说明具有较长光照时长的中国北方更宜于长花序的形成。因此,中国北方大豆品种选育时应更注重花序长度性状。

大豆花序长度性状属数量性状,由多基因控制^[9],因此在育种中,可采用杂交的方式选育不同花序长度的品系,同时,航空诱变也被证实可用于创制长花序的种质材料^[21]。另外,分子标记辅助选择被认为是提高育种效率的技术手段。但目前定位大豆花序长度的标记只有2个^[22],因此,在未来的研究中,有必要鉴定更多的有用标记,挖掘花序

形成的功能基因,并明确基因与环境的互作关系,继而为大豆花序性状改良提供有效的技术支持。

4 结论

本研究参试的292份供试大豆材料中,顶生长轴花序的品(种)系占1.37%,中轴花序的品种(系)占35.62%,短轴花序的品种(系)占63.01%,说明大豆资源中顶生花序长度以中轴及短轴为主。

顶生花序长度及其产量性状存在着广泛的遗传变异,变异系数从大到小依次为顶生花序长度>顶生花序粒数>顶生花序粒重>顶生花序结荚数>顶生花序有效结荚数>顶生花序百粒重。

顶生花序产量相关性状的平均值均表现出长轴>中轴>短轴的规律。对于长、中、短轴花序类型而言,顶生花序粒重的平均值占单株粒重平均值的13.27%、13.90%和11.48%,说明较长顶生花序轴更有利于产量的积累。

顶生花序长度与顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数、顶生花序粒数及顶生花序粒重均呈极显著正相关,且顶生花序长度、顶生花序结荚数、顶生花序有效结荚数、顶生花序粒数和单株粒数对单株产量的贡献率较高。

参考文献

[1] Benlloch R, Berbel A, Ali L, et al. Genetic control of inflorescence architecture in legumes [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015,6:543.

[2] Carlson D R, Dyer D J, Cotterman C D, et al. The physiological basis of cytokinin induced increases in pod set in IX93-100 soybeans[J]. *Plant Physiology*, 1987,84:233-239.

[3] 游明安, 盖钧镒. 大豆花序性状的研究现状[J]. *中国油料作物学报*,1995, 17(1):74-77. (You M A, Gai J Y. Research advances on inflorescence traits of soybean[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*,1995, 17(1):74-77.)

[4] Schaik P H V, Probst A H. The inheritance of inflorescence type, peduncle length, flowers per node, and percent flower shedding in soybeans[J]. *Agronomy Journal*, 1958, 50(2):98-102.

[5] 王金陵. 大豆[M]. 哈尔滨:黑龙江科技出版社, 1982:41-42. (Wang J L. Soybean[M]. Harbin: Science and Technology Press of Heilongjiang Province, China, 1982: 41-42.)

[6] 刘永涛, 何波, 贾淑村, 等. 优异种质资源“凤交66-12”长花序大豆及利用[J]. *杂粮作物*, 2001,21(3):24-25. (Liu Y T, He B, Jia S C, et al. Long inflorescence soybean characterize and utilization of ellipse germplasm resource ‘Fengjiao 66-12’ [J]. *Rain Fed Crops*, 2001,21(3):24-25.)

[7] 盖钧镒, 崔章林. 我国南方大豆特异种质资源的研究[J]. *南京农业大学学报*,1992,15(2):117-121. (Gai J Y, Cui Z L. Studies on gene resources of soybeans from southern China for specific breeding purposes [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1992,15(2):117-121.)

[8] 谢甫绋, 陈贵, 王晓光, 等. 大豆长花序短果枝株型性状的利用研究 I. 长花序短果枝对大豆产量的贡献[J]. 大豆科学, 1999,18(1):27-31. (Xie F T, Chen G, Wang X G, et al. Utilization of soybean germplasm with plant-type of long floral axis and short pod-branch I. Contribution of long floral axis and short pod-branch to seed yield[J]. Soybean Science, 1999, 18(1): 27-31.)

[9] Kilen T C. Inheritance of a long terminal raceme in soybean[J]. Crop Science, 1989, 29(4):966-968.

[10] Bramel P J, Hinz P N, Green D E, et al. Use of principal factor analysis in the study of three stem termination types of soybean [J]. Euphytica, 1984, 33:387-400.

[11] 黄尚洪, 赵恩美, 胡玉奇, 等. 大豆新品种“丹豆五号”的选育[J]. 大豆科学, 1984, 3(1):83-86. (Huang S H, Zhao E M, Hu Y Q, et al. Improvement of new soybean variety ‘Dandou No. 5’[J]. Soybean Science, 1984, 3(1):83-86.)

[12] 王玉江, 苏晓萌, 王忠岩, 等. 高产大豆新品种连豆 1 号的选育及栽培技术[J]. 大豆通报, 2007(7):9-10. (Wang Y J, Su X M, Wang Z Y, et al. Selection and breeding for high yield-new variety soybean ‘Liandou 1’ and its culture practices [J]. Bulletin of Soybean, 2007(7):9-10.)

[13] 谢甫绋, 王海英, 张惠君, 等. 大豆长花序短果枝株型性状的利用研究 III. 不同种植方式和种植密度下长花序短果枝株型品种的产量性状[J]. 辽宁农业科学, 2004(6):1-5. (Xie F T, Wang H Y, Zhang H J, et al. Utilization of soybean germplasm with plant-type of long floral axis and short pod-branch III. Yield characteristics of soybean variety with long floral axis and short pod-branch characteristics under different row spaces and seeding rates[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2004(6):1-5.)

[14] 董志新, 李绍长, 张煜星, 等. 大豆源库间物质转化及同化物运输规律[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(4):174-176. (Dong Z X, Li S C, Zhang Y X, et al. Soybean source-sink substance transtering and the rule of assimilating substance translation[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2001, 38(4):174-76.)

[15] 赵双进, 唐晓东, 赵鑫, 等. 大豆开花落花及时空分布的观察研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8):1543-1554. (Zhao S J, Tang X D, Zhao X, et al. Observation and research on the temporal and spatial distribution of flowering and flower dropping of soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(8): 1543-1554.)

[16] 石连旋, 刘立侠, 朱长甫, 等. 不同株型大豆形态与花荚脱落率的研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2005, 37(3):81-84. (Shi L X, Liu L X, Zhu C F, et al. Studies on morpho, flower and pod abscission rate of different soybean plant-types[J]. Journal of Northeast Nornal University(Natura Science Edition), 2005, 37(3):81-84.)

[17] 游明安, 盖钧锰, 吴晓春, 等. 大豆产量空间分布特性的初步研究[J]. 大豆科学, 1993, 12(1):64-67. (You M A, Gai J Y, Wu X C, et al. Preliminary study on soybean yield distribution in space[J]. Soybean Science, 1993, 12(1):64-67.)

[18] 吴存祥, 刘金, 李兴宗, 等. 扁茎大豆的花序形态受光周期调控[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(1):36-41. (Wu C X, Liu J, Li X Z, et al. Photoperiod regulates morphology of terminal inflorescence in fasciated soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(1):36-41.)

[19] 姜妍, 吴存祥, 胡珀, 等. 不同结荚习性大豆品种顶端花序发育过程的形态解剖学特征[J]. 作物学报, 2014, 40(6):1117-1124. (Jiang Y, Wu C X, Hu P, et al. Morphological and anatomic characteristics on terminal raceme development of soybean varieties with different stem termination types[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(6):1117-1124.)

[20] Jiang Y, Wu C X, Zhang L X, et al. Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod-sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] variety[J]. Plant Science, 2011, 180(3):504-510.

[21] 谢甫绋, 姜艳杰, 张惠君, 等. 空间诱变对大豆长花序短果枝性状的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(6):964-966. (Xie F T, Jiang Y J, Zhang H J, et al. Effect of space mutagenesis on long floral axis and short pod-branch of soybeans [J]. Soybean Science, 2009, 28(6):964-966.)

[22] Yamaguchi N, Sayama T, Sasama H, et al. Mapping of quantitative trait loci associated with terminal raceme length in soybean[J]. Crop Science, 2014, 54(6):2461-2468.