

密度及烯效唑喷施对套作大豆南夏豆 25 抗倒性及产量的影响

梁建秋,于晓波,吴海英,冯 军,刘国林,张明荣

(南充市农业科学院/国家大豆产业技术体系南充综合试验站,四川 南充 637000)

摘 要:为探寻玉米-大豆带状套作模式下套作专用高蛋白品种南夏豆 25 的适宜密度和栽培措施,设置 10 万,12 万,18 万,24 万株·hm⁻²共 4 个密度梯度,并于分枝期用烯效唑 75 mg·kg⁻¹对不同密度材料进行化控处理,研究不同密度及化控和不化控条件下的主要农艺性状情况。结果表明:随着大豆密度增加,大豆株高、重心高、第一节间长、长粗比等茎秆纵向生长特性指标均显著增加,而基部节间粗度则显著下降;对化控和不化控的比较发现,化控能够显著抑制由于密度增大引起的重心高增加和基部节间伸长的不足,同时增加基部节间粗,增强植株的抗倒性。化控与不化控处理的大豆单株产量构成因素均随着密度的增加而下降,而群体产量则呈先升后降的趋势,但是二者均以密度 18 万株·hm⁻²的产量最高,化控处理能够显著提高作物产量。以上研究结果表明,针对南夏豆 25 的生长特性,在生产过程中应通过适度增加密度(18 万株·hm⁻²)并结合一定的化学控制策略来增强植株的抗倒性从而达到大豆产量的提高。

关键词:套作;密度;化控处理;茎秆抗倒性;产量

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.01.0033

Impact of Density and Uniconazole on Stem Lodging Resistance and Yield of Inter-planting Soybean Cultivar Nanxiadou 25

LIANG Jian-qiu, YU Xiao-bo, WU Hai-ying, FENG Jun, LIU Guo-lin, ZHANG Ming-rong

(Nanchong Academy of Agricultural Sciences/Nanchogn Station of China Soybean Industrial Technology System, Nanchong 637000, China)

Abstract: Nanxiadou 25 is a suitable inter-planting soybean cultivar with high protein content. In order to clarify the ideal population density and cultivated measures of Nanxiadou 25, 4 population density, including 100 000, 120 000, 180 000 and 240 000 plants·ha⁻¹ were set. The plots were sprayed with 75 mg·kg⁻¹ uniconazole during the branching stage, and investigated some mainly agronomic traits. Results showed that the plant height, stem height of gravity center, length of the first internode, ratio between length and diameter, were significantly increased with the increasing of population density, but diameter of the first stem internode decreased significantly. The chemical treatment with spraying uniconazole could inhibit the increase of stem height, length of the first stem internode, because the increase of population density and increase diameter of the first stem internode could improve the lodging resistance. In addition, the yield components per plant all decreased with the increase of population density under chemical treatment or none. The plot yield showed a trend of first increased and then decreased with the increase of population density under chemical treatment, with the highest yield in the density of 180 000 plants·ha⁻¹. These results showed that, chemical treatment could significantly increase crop yield. Therefore, suitable density (180 000 plants·ha⁻¹) and rational chemical treatments could enhance the lodging resistance and yield of Nanxiadou 25.

Keywords: Inter-planting; Population density; Chemical treatments; Stem lodging resistance; Yield

以间套作带状复合种植为主的西南大豆生产区已经成为我国三大大豆主产区之一,其中大豆生产以玉米-大豆带状套作复合种植为主,占播种面积的 80%。近年来,四川大豆播种面积已扩大达到 40 万 hm²,由于生产上大面积使用的套作配套专用大豆品种主要是极晚熟夏大豆品种,在生产实际中存在着与小春作物茬口衔接紧,收获期因降雨多温度低而导致籽粒霉烂、商品性差等问题,制约了农

民种豆的积极性和大豆面积的进一步扩大。针对这一现状,南充市农业科学院大豆研究所成功培育了适宜玉米套作的早熟耐荫高产高蛋白大豆新品种南夏豆 25,该品种比大面积使用品种南豆 12、贡选 1 号早熟 10 d 以上,解决了小春作物茬口衔接难和大豆品质差的难题,该品种的应用将推动四川大豆生产的发展。

玉米-大豆带状套作复合种植模式下,高位作

物玉米荫蔽和对光选择性吸收,使得大豆接收到的光合有效辐射(PAR)减少,红光远红光比例降低^[1-2],合同化能力显著下降^[3-4],植株茎秆通过伸长生长以截获更多光能^[5-6],植株茎秆纤细、重心偏高,极易倒伏^[7-8]。套作大豆新品种南夏豆 25 与当前大豆生产主推品种南豆 12、贡选 1 号相比较,植株偏矮,分枝较少,单株生产潜力受到限制,单位面积产量的提高更依赖于密度的增加,但过高的群体密度会进一步加剧倒伏的发生^[9-10],特别是在带状复合群体内。烯效唑作为一种低毒高效的植物生长延缓剂,能够明显降低套作大豆植株高度,缩短第一节间长,增加基部节间茎粗^[11-12],增强根系吸收能力,提高地上部叶片耐荫抗逆能力^[13],特别是分枝期喷施,不仅能够有效调控植株形态建成,对后期产量形成和蛋白质积累均有显著的促进作用^[14]。因此,合理的田间群体配置和科学的栽培技术能够有效改善作物生长环境,提高群体产量。

本研究在玉米-大豆带状复合种植模式下,通过构建不同的田间群体配置,并在套作大豆生长容易出现倒伏的关键时期进行化控处理,研究在化控条件下不同群体配置的大豆茎秆倒伏特性、产量构成和经济系数,探明南夏豆 25 在玉米-大豆带状套作下获得大豆高产的最适宜的种植密度和化控增产原因,为指导南夏豆 25 的扩大应用提供科学依据。

表 1 不同田间配置的田间种植方式

Table 1 Field configuration of each density treatment

| 编号 Number | 行数 Rows | 玉豆行距 Row spacing between maize and soybean/cm | 豆、豆行距 Soybean row spacing /cm | 大豆穴距 Soybean hole distance/cm | 每穴株数 Plants per hole | 密度 Density /(10 ⁴ plant·hm ⁻²) |
|--------------|------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---|
| D1 | 2 | 55 | 50 | 20 | 2 | 10 |
| D2 | 2 | 55 | 50 | 25 | 3 | 12 |
| D3 | 3 | 35 | 45 | 25 | 3 | 18 |
| D4 | 4 | 35 | 30 | 25 | 3 | 24 |

1.3 测定项目与方法

1.3.1 成株率 成熟期调查各小区实际存活株数,结合理论株数,测定其成株率^[15],即:成株率(%) = 每小区大豆有效株数/田间设置株数 × 100。

1.3.2 茎秆形态特征 大豆成熟时,每小区连续取样 20 株,测定株高和茎秆重心高(子叶节至植株重量平衡点)^[16];基部第一节间粗度和长度;主茎节数;倒伏率和倒伏等级(参照国家区试标准)。

1.3.3 产量性状 大豆成熟时,每小区取具有代表性的 20 株,调查其有效分枝数、有效荚数、无效荚数、单株粒数、百粒重等产量性状指标。

1 材料与方法

1.1 材料

玉米品种:成单 30,半紧凑型,四川省农业科学院作物所提供;大豆品种:套作大豆新品种南夏豆 25,由南充市农业科学院提供;烯效唑由四川省兰月科技有限公司生产。土壤为紫色壤土,pH 为 6.59,土壤耕层基础肥力为:有机质 18.2 g·kg⁻¹,全氮 1.44 g·kg⁻¹,全磷 1.17g·kg⁻¹,全钾 27.88 g·kg⁻¹,速效氮 69.42 mg·kg⁻¹,速效磷 6.04 mg·kg⁻¹,速效钾 119.7 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验于 2014 和 2015 年的 3-11 月在四川省南充市西充县青狮镇大豆科研生产示范基地进行(N30°53',E105°37')。试验采用两因素随机区组试验设计,D 为不同的田间群体配置(表 1),P 为烯效唑处理:P0,0 mg·kg⁻¹;P1:75 mg·kg⁻¹^[13-14]。玉米-大豆带状套作中,玉米采用宽窄行种植模式,3 月 28 日播种,南北朝向,窄行间距 0.4 cm,宽行间距 1.6 m,株距 0.20 m,密度为 5 万株·hm⁻²;大豆于 6 月 14 日播于玉米宽行内。小区长 10 m,宽 4 m,面积 40 m²,重复 3 次。玉米 8 月 7 日统一收获,此时大豆处于花期,玉豆共生期 54 d。小区施肥水平一致,田间管理按常规进行。

1.3.4 经济系数 籽粒产量/地上部植株干物质重。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理分析,LSD 法测定差异显著性,数据计算均采用两年平均值。

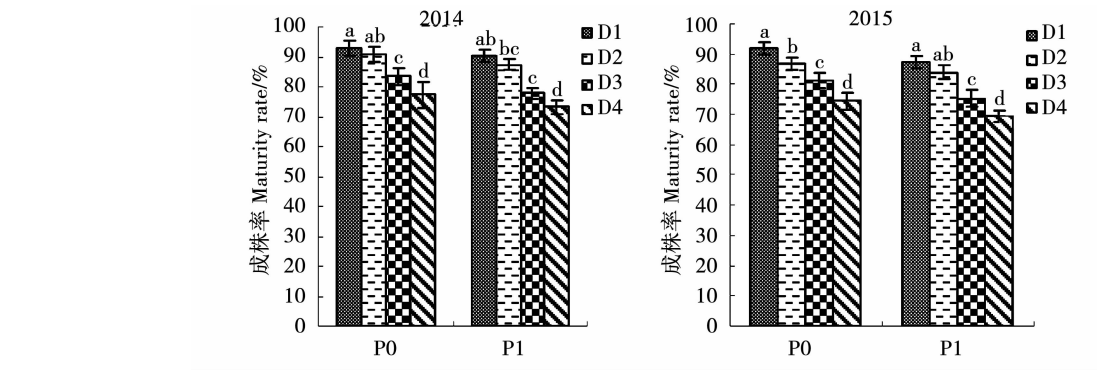
2 结果与分析

2.1 密度和烯效唑喷施对大豆成株率的影响

不同群体密度下大豆成株率差异显著(P < 0.05),化控处理间无显著差异,密度和化控互作不

显著(图 1),两年试验结果趋势一致。从田间群体配置来看,随着密度的增加,P0 与 P1 处理的大豆田间成株率均显著下降。与 D1 相比,D2、D3 和 D4 分

别下降 3.8%、10.8% 和 17.7% (2014 和 2015 年平均值)。



不同字母表示不同密度、不同处理下差异达 5% 显著水平,下同。
Values with the different letters means significant difference at 0.05 level of different density and different treatment. The same below.

图 1 密度和烯效唑喷施对大豆成株率的影响

Fig.1 Effects of density and uniconazole spraying on maturity rate of soybean plants

2.2 茎秆形态特征和倒伏特性

2.2.1 株高及重心高 不同群体密度下大豆株高和重心高差异极显著 ($P < 0.01$),化控处理间差异极显著 ($P < 0.01$),不同群体密度和化控处理互作不显著(表 2),两年试验结果表现一致。

从群体密度看,大豆的株高和重心高均以随着群体密度的增加极显著增加 ($P < 0.01$),与 D1 相比,P0 处理 D4 分别增加 14.8% 和 22.3%,P1 处理

D4 分别增加 17.6% 和 20.4%。化控极显著降低了大豆株高和重心高 ($P < 0.01$),随着群体密度的增加 P1 大豆株高增幅大于 P0,这基于化控处理下对照密度的植株高度较低,密度增加引起的植株高度增加相对更为明显;而 P1 植株重心高的增幅则小于 P0,表明化控对群体密度增加带来的重心升高有明显的抑制作用。

表 2 密度和烯效唑喷施对大豆株高和重心高度的影响

Table 2 Effects of density and uniconazole spraying on plant height and the center of gravity height of soybean

| | | 2014 | | 2015 | |
|-------|-----------|-----------------------|---|-----------------------|---|
| 处理 | Treatment | 株高 Plant height/cm | 重心高 Stem height of gravity center/cm | 株高 Plant height/cm | 重心高 Stem height of gravity center/cm |
| P0 | D1 | 67.4 ± 1.0 e | 34.2 ± 0.4 de | 71.2 ± 1.6 d | 34.5 ± 1.1 e |
| | D2 | 70.7 ± 1.8 cd | 36.1 ± 0.4 cd | 73.9 ± 0.9 cd | 37.3 ± 1.3 cd |
| | D3 | 77.0 ± 1.2 b | 39.6 ± 0.8 b | 77.8 ± 1.0 b | 40.4 ± 1.2 b |
| | D4 | 79.3 ± 0.7 a | 41.7 ± 0.7 a | 79.7 ± 1.2 a | 42.3 ± 2.0 a |
| P1 | D1 | 61.2 ± 0.8 g | 30.4 ± 0.5 f | 63.9 ± 1.6 f | 32.8 ± 1.5 f |
| | D2 | 65.0 ± 1.1 f | 33.1 ± 0.5 e | 66.6 ± 2.1 e | 33.6 ± 0.8 ef |
| | D3 | 68.8 ± 1.4 de | 35.2 ± 1.4 d | 69.8 ± 0.8 de | 36.1 ± 1.1 d |
| | D4 | 72.5 ± 2.1 c | 37.8 ± 0.3 bc | 74.6 ± 1.3 c | 38.2 ± 0.6 c |
| P | | 272.15 ** | 85.48 ** | 313.85 ** | 102.47 ** |
| D | | 160.72 ** | 63.41 ** | 146.22 ** | 66.68 ** |
| P × D | | 1.84 | 0.52 | 1.04 | 0.81 |

同列标以不同字母的值在 0.05 水平上差异显著;* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。
Values followed by a different letter are significantly different($P < 0.05$). * and ** mean significant difference at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

2.2.2 第一节间长度及粗度 对大豆第一节间长度、粗度以及长粗比分别比较发现:密度间差异均极显著($P<0.01$);不同群体密度和化控处理互作均不显著;而第一节间长度化控处理间无显著差异,第一节间粗度和长粗比化控处理间差异均极显著。两年试验结果表现一致。

从群体密度看,第一节间长度:P0和P1处理下D1均显著低于其余处理($P<0.05$),与D1相比,P0处理下D2、D3和D4分别增加7.4%、10.9%和16.7%,P1处理下D2、D3和D4分别增加6.6%、9.6%和15.1%,P1处理第一节间长度随密度增加的增幅小于P0。第一节间粗度:P0和P1处理下D1和D2均显著高于D3和D4,与D1相比,P0处理下

D3、D4分别下降8.4%和13.3%,P1处理下D3和D4分别下降7.6%和12.5%,P1处理第一节间粗随密度增加的降幅小于P0处理。长粗比:P0处理间差异显著,与D1相比,D2、D3和D4分别增加12.7%、23.7%和37.6%;P1处理下D3和D4显著高于D1和D2,与D1相比,D2、D3和D4分别增加9.62%、19.3%和31.8%,P1处理长粗比随密度增加的增幅小于P0。

从化控处理看,同一群体密度下,第一节间长度P1较P0低,第一节间粗度P1较P0高,长粗比P1较P0低,说明化控处理能一定程度上降低第一节间长度,增加粗度,提高长粗比。

表3 密度和烯效唑喷施对大豆第一节间长度和粗度的影响
Table 3 Effects of density and uniconazole spraying on length and stem diameter

| | | 2014 | | | 2015 | | |
|-----------------|----|---|--|----------------------------|---|---|----------------------------|
| 处理 Treatment | | 第一节间粗度 Stem diameter of 1 st internode /mm | 第一节间长度 Length of 1 st internode /cm | 长粗比 Length/ diameter | 第一节间粗度 Stem diameter of 1 st internode /mm | 第一节间长度 Length of 1 st internode / cm | 长粗比 Length/ diameter |
| | | | | | | | |
| P0 | D1 | 5.89 ±0.44 b | 6.72 ±0.29 de | 11.42 ±0.92 d | 6.74 ±0.48 bc | 7.26 ±0.26 c | 10.27 ±1.14 f |
| | D2 | 5.63 ±0.52b c | 7.31 ±0.35 c | 12.81 ±1.02 c | 6.68 ±0.59 bc | 7.65 ±0.33 b | 11.61 ±0.88 de |
| | D3 | 5.42 ±0.38 c | 7.55 ±0.71 b | 13.92 ±0.52 b | 6.15 ±0.75 de | 7.92 ±0.75 ab | 12.87 ±0.67 b |
| | D4 | 5.01 ±0.27 d | 8.02 ±0.88 a | 16.00 ±0.44 a | 5.95 ±0.24 e | 8.24 ±0.45 a | 13.86 ±0.92 a |
| P1 | D1 | 6.31 ±0.52 a | 6.59 ±0.62 e | 10.44 ±1.01 e | 7.15 ±0.19 a | 7.22 ±0.59 c | 10.01 ±1.04 f |
| | D2 | 6.35 ±0.44 a | 7.16 ±0.58 cd | 11.20 ±0.55 de | 6.98 ±0.47 ab | 7.59 ±0.92 b | 10.88 ±0.82 ef |
| | D3 | 5.82 ±0.38 b | 7.38 ±1.05 bc | 12.69 ±0.62 c | 6.57 ±1.02 cd | 7.78 ±0.81 ab | 11.99 ±0.55 cd |
| | D4 | 5.41 ±0.19 c | 7.78 ±0.62 ab | 14.38 ±0.73 b | 6.37 ±0.57 d | 8.10 ±0.72 a | 12.79 ±0.49 bc |
| P | | 52.69 * | 2.53 ^{ns} | 44.93 ** | 27.95 ** | 0.43 ^{ns} | 18.05 ** |
| D | | 36.36 * | 21.71 ** | 81.97 ** | 26.25 ** | 9.11 ** | 42.22 ** |
| P × D | | 1.40 | 0.09 | 0.58 | 0.17 | 0.04 | 0.20 |

ns表示差异不显著。ns:No significance.

2.2.3 主茎节数及平均节间长度 不同群体密度下大豆平均节间长差异极显著($P<0.01$),化控处理间差异极显著($P<0.01$),不同群体密度和化控处理互作不显著(表4);不同群体密度和化控处理的主茎节数差异均不显著。两年试验结果一致。从群体密度看,与D1相比,P0处理下D3和D4平均节间长分别增加19.5%和25.7%,P1处理下分别增加13.4%和23.6%。从化控处理看,同一群体密度下P1平均节间长较P0分别下降8.6%、9.3%、11.8%和12.7%,化控对节间伸长的抑制随着密度的增加更为明显。而群体密度和化控对主茎节数无明显影响。

2.2.4 抗倒性 不同群体密度下大豆田间倒伏率差异极显著($P<0.01$),化控处理间差异极显著($P<0.01$),不同群体密度和化控处理互作显著($P<0.05$)(表5),两年试验结果表现一致。从群体密度看,P0处理下不同群体密度间的倒伏率差异显著,与D1相比,D3和D4分别增加17.0%和25.5%;P1处理下除D2和D1外处理间差异显著,与D1相比,D3和D4分别增加11.9%和17.4%,P1处理的增幅小于P0。从化控处理看,同一群体密度下P1较P0分别下降1.2%、2.8%、6.3%和9.3%,化控对倒伏的抑制作用随着密度的增加愈加明显。

表 4 密度和烯效唑喷施对大豆主茎节数和平均节间长的影响

| 处理 Treatment | | 2014 | | 2015 | |
|-----------------|----|--------------|---------------------|---------------|---------------------|
| | | 主茎节数 | 平均节间长 | 主茎节数 | 平均节间长 |
| | | Node number | Internode length/cm | Node number | Internode length/cm |
| P0 | D1 | 13.7 ± 1.0 a | 5.00 ± 0.36 cde | 15.7 ± 1.2 a | 4.54 ± 0.52 bc |
| | D2 | 13.3 ± 0.4 a | 5.52 ± 0.28 bc | 15.0 ± 0.7 ab | 4.93 ± 0.88 ab |
| | D3 | 13.0 ± 0.5 a | 6.15 ± 0.82 a | 14.7 ± 0.8 ab | 5.30 ± 0.69 a |
| | D4 | 12.4 ± 1.3 a | 6.33 ± 0.45 a | 14.9 ± 0.6 ab | 5.36 ± 0.94 a |
| P1 | D1 | 13.5 ± 0.8 a | 4.48 ± 0.38 e | 15.1 ± 0.3 ab | 4.23 ± 0.72 c |
| | D2 | 12.8 ± 1.2 a | 4.90 ± 0.51 de | 14.2 ± 0.7 b | 4.70 ± 0.38 bc |
| | D3 | 12.6 ± 0.3 a | 5.31 ± 0.22 bed | 15.3 ± 0.5 ab | 4.58 ± 0.61 bc |
| | D4 | 12.6 ± 0.4 a | 5.84 ± 0.45 ab | 15.1 ± 0.6 ab | 4.94 ± 0.77 ab |
| P | | 0.641 | 21.140 ** | 0.328 | 13.015 ** |
| D | | 2.86 | 18.97 ** | 1.41 | 7.74 ** |
| P × D | | 0.26 | 0.35 | 1.38 | 0.82 |

表 5 密度和烯效唑喷施对大豆抗倒性的影响

Table 5 Effects of density and uniconazole spraying on the lodging resistance of soybean

| 处理 Treatment | | 2014 | | 2015 | |
|-----------------|----|----------------|---------------|----------------|---------------|
| | | 倒伏率 | 倒伏等级 | 倒伏率 | 倒伏等级 |
| | | Lodging rate/% | Lodging level | Lodging rate/% | Lodging level |
| P0 | D1 | 9.84 e | 2 | 8.96 e | 2 |
| | D2 | 13.44 d | 2 | 12.88 d | 2 |
| | D3 | 26.38 b | 3 | 26.42 b | 3 |
| | D4 | 34.65 a | 3 | 35.15 a | 3 |
| P1 | D1 | 8.62 e | 2 | 7.76 e | 2 |
| | D2 | 11.08 de | 2 | 9.68 de | 2 |
| | D3 | 19.82 c | 2 | 20.44 c | 2 |
| | D4 | 24.62 b | 2 | 24.52 b | 2 |
| P | | 35.53 ** | — | 21.58 ** | — |
| D | | 125.76 ** | — | 105.52 ** | — |
| P × D | | 5.71 * | — | 4.45 * | — |

百分比进行方差分析前,先换算为小数,然后进行反正弦平方根换算(非角度),再进行方差分析。
Transformed percent into decimal and calculated the square root of anti-sine, then carried out variance analysis.

2.3 大豆产量性状和经济系数

2.3.1 产量性状 不同群体密度下大豆单株有效荚、单株粒数、单株粒重、百粒重等产量构成因素和产量间差异均极显著($P < 0.01$),化控处理间产量构成因素间差异达显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$,表 6),两年试验结果几乎一致。

从不同群体密度看,P0 与 P1 各产量构成因素均是以密度 D1 的最高:与 D1 相比,D2、D3 和 D4 处理下 P0 的单株有效荚分别下降 12.3%、23.2% 和 35.4%,P1 分别下降 9.8%、21.6% 和 34.2%;P0 的单株粒数分别下降 13.6%、20.6% 和 33.9%,P1 分

别下降 13.0%、18.0% 和 34.1%;单株粒重 P0 分别下降 13.1%、26.7% 和 41.5%,P1 分别下降 9.3%、22.4% 和 39.8%。P0 与 P1 的产量均是以密度 D3 的最高,P0 下 D3 产量比 D1 增加 18.7%,P1 下 D3 产量比 D1 增加 17.7%。

从化控处理看,同一群体密度下,P1 处理的各产量构成因素及产量均高于 P0 处理。与同一群体密度下的 P0 相比,P1 处理下单株有效荚增加 8.8%~10.5%;单株粒数增加 3.8%~7.6%;单株粒重增加 8.3%~15.0%;百粒重分别增加 7.7%~10.2%;产量分别增加 1.6%~6.4%。

表6 密度和烯效唑喷施对大豆产量及产量构成的影响

Table 6 Effects of density and uniconazole spraying on the yield and yield components of soybean

| | | 2014 | | | | | 2015 | | | | |
|-----|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|
| 处理 | Treatment | 有效荚 Available pods per plant | 单株粒数 Seeds number per plant | 单株粒重 Seeds weight per plant/g | 百粒重 100-seed weight/g | 产量 Yield /(kg·hm ⁻²) | 有效荚 Available pods per plant | 单株粒数 Seeds number per plant | 单株粒重 Seeds weight per plant/g | 百粒重 100-seed weight/g | 产量 Yield /(kg·hm ⁻²) |
| P0 | D1 | 43.9 b | 76.1 b | 21.6 a | 29.1 ab | 2053.6 e | 44.8 a | 79.7 a | 21.2 b | 30.1 b | 2044.5 d |
| | D2 | 39.5 c | 67.3 c | 18.4 b | 28.7 b | 2106.2 de | 38.2 bc | 67.2 b | 18.3 c | 29.5 b | 2103.2 cd |
| | D3 | 33.9 d | 64.1 c | 16.7 b | 26.9 c | 2497.5 ab | 36.2 cd | 59.4 c | 17.0 c | 28.9 b | 2379.6 ab |
| | D4 | 28.8 e | 52.9 d | 13.1 c | 26.1 c | 2305.4 bcd | 28.5 d | 50.0 d | 13.1 d | 27.6 b | 2298.5 abc |
| P1 | D1 | 50.9 a | 82.7 a | 23.7 a | 30.1 ab | 2211.4 cde | 44.5 a | 79.2 a | 22.9 a | 33.7 a | 2110.5 cd |
| | D2 | 45.3 b | 72.1 b | 21.8 a | 30.8 a | 2304.1 bcd | 40.7 ab | 68.8 b | 22.3 ab | 33.1 a | 2173 bcd |
| | D3 | 38.2 c | 67.7 c | 17.5 b | 27.1 c | 2610.3 a | 36.4 bc | 65.1 b | 17.8 c | 30.0 b | 2476.8 a |
| | D4 | 29.6 e | 53.1 d | 13.5 c | 26.2 c | 2365.5 bc | 32.8 cd | 53.6 d | 13.9 d | 30.2 b | 2311.5 abc |
| P | | 38.70 ** | 15.21 ** | 10.41 ** | 4.99 * | 6.88 * | 5.31 * | 6.21 * | 33.95 ** | 24.27 ** | 5.62 * |
| D | | 120.35 ** | 127.25 ** | 54.22 ** | 23.63 ** | 13.61 ** | 38.81 ** | 122.76 ** | 140.10 ** | 8.20 ** | 10.85 ** |
| P×D | | 3.61 * | 1.94 | 1.49 | 1.39 | 0.35 | 1.03 | 1.62 | 1.52 | 0.91 | 0.14 |

从大豆植株茎秆形态与产量及其构成的相关性分析可以看出(表7),倒伏率与株高、重心高、第一节间长度、平均节间长和长粗比呈极显著正相关,表明植株茎秆总长度和基部节间长的增加、重心高度的升高均是造成植株倒伏的主要原因;倒伏率与基部第一节间粗呈显著负相关,表明基部节间

粗度的增加抑制倒伏的发生。从产量及其构成来看,倒伏率与单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重均呈极显著负相关,倒伏的发生会降低大豆单株产量构成因素水平,但由于群体密度的增加,使得群体产量与倒伏率间相关性不显著。

表7 大豆植株形态与产量性状相关性分析

Table 7 Correlation of relation change of plant morphological and yield

| | PL | SHGC | SD1st | L1st | L/D | NN | IL | AP | SN | 100-SW | SWP | Y |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| SHGC | 0.981 ** | | | | | | | | | | | |
| SD1st | -0.495 | -0.542 * | | | | | | | | | | |
| L1st | 0.819 ** | 0.848 ** | -0.187 | | | | | | | | | |
| L/D | 0.765 ** | 0.828 ** | -0.868 ** | 0.635 ** | | | | | | | | |
| NN | 0.049 | -0.022 | 0.768 ** | 0.197 | -0.534 * | | | | | | | |
| IL | 0.701 ** | 0.731 ** | -0.914 ** | 0.436 | 0.936 ** | -0.656 ** | | | | | | |
| AP | -0.860 ** | -0.912 ** | 0.541 * | -0.892 ** | -0.863 ** | 0.127 | -0.725 ** | | | | | |
| SN | -0.819 ** | -0.881 ** | 0.524 * | -0.901 ** | -0.848 ** | 0.142 | -0.675 ** | 0.961 ** | | | | |
| 100-SW | -0.643 ** | -0.656 ** | 0.899 ** | -0.33 | -0.836 ** | 0.550 * | -0.858 ** | 0.645 ** | 0.591 * | | | |
| SWP | -0.858 ** | -0.897 ** | 0.616 * | -0.842 ** | -0.880 ** | 0.154 | -0.727 ** | 0.961 ** | 0.950 ** | 0.738 ** | | |
| Y | 0.294 | 0.366 | -0.413 | 0.399 | 0.508 * | -0.369 | 0.428 | -0.476 | -0.471 | -0.494 | -0.494 | |
| LR | 0.861 ** | 0.919 ** | -0.622 * | 0.819 ** | 0.883 ** | -0.173 | 0.726 ** | -0.913 ** | -0.913 ** | -0.703 ** | -0.930 ** | 0.492 |

PL:株高;SHGC:重心高;SD1st:节间粗度;L1st:第一节间长度;L/D:长粗比;NN:主茎节数;IL:平均节间长;AP:有效荚数;SN:单株粒数;100-SW:百粒重;SWP:单株粒重;Y:产量;LR:倒伏率。

PL: Plant height; SHGC: Stem height of gravity center; SD1st: Stem diameter of 1st; L1st: Length of internode 1st; L/D: Length/diameter; NN: Node number; IL: Internode length; AP: Available pods; SN: Seeds number; 100-SW: 100-seed weight; Y: Yield; LR: Lodging rate.

2.3.2 经济系数 不同群体密度下大豆经济系数差异极显著($P<0.01$),化控处理间无显著差异,不同群体密度和化控处理互作显著($P<0.05$),两年试验结果表现一致(图2)。从不同群体密度看,P0

和P1处理均以D1的经济系数最高,D1和D2两年结果均显著高于D3和D4,与D1相比,D3和D4处理下P0的经济系数分别下降7.8%和12.3%,P1分别下降14.0%和19.2%。

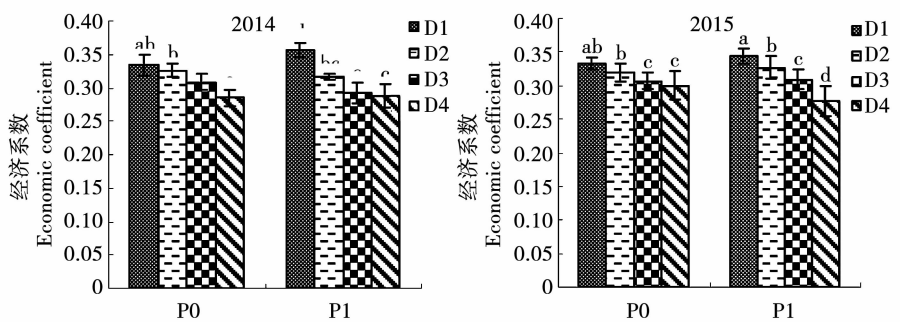


图2 密度和烯效唑喷施对大豆经济系数的影响

Fig.2 Effects of density and uniconazole spraying on economic coefficient of soybean

3 讨论

茎秆对作物植株起支撑作用,其形态特征和生理性状极大的影响作物承受自身重量及外界环境的压力水平,是决定作物是否倒伏的关键性状。株高、重心高度和第一节间长与植株抗倒能力呈显著负相关^[17-18],茎秆基部节间粗度则与抗倒能力呈显著正相关^[19-20]。随着作物群体密度的增加,作物群体内部相互竞争增强,造成茎秆纤细产生倒伏^[21]。本试验条件下,随着密度的增加大豆株高、重心高度和第一节间长显著增加,基部第一节间粗度减小,长粗比增加,植株茎秆的生长表现为典型的纵向伸长生长能力增强、横向生长能力受抑制,这与由外界荫蔽引起导致的植株倒伏表现极为相似^[22-23],表明随着密度的增加作物群体内植株个体间对光的竞争在植株的茎秆形态建成过程中起着重要作用。本研究表明化控能够抑制由于密度增加引起的第一节间长度增加和粗度减小,缩小不同密度间长粗比的差异,且化控效果随着密度的增加效果更为明显。同时发现,同一群体密度下,化控处理的存株率普遍低于对照处理,这可能是化控处理后植株单体生长和竞争能力增强放大了壮苗和弱苗间的生长差异,从而造成弱势植株死亡,这还有待于进一步的研究证实。

良好的群体结构有利于作物群体对光能的利用以及群体内的气体交换,提高单株籽粒产量^[24-25];自我调节补偿效应是植物群体的固有特性,并以此来提高其对外界环境的适应能力,保证作物群体的稳定性^[26]。合理密植是通过增加群体密度、协调单株籽粒生产能力来提高作物产量。两年试验结果表明,随着密度的增加大豆单株有效荚、单株粒数和百粒重等产量构成因素均显著下降,单株粒重下降,但群体产量则呈现先升后降的趋势,在密度达到 18 万株·hm⁻²时产量最高。化控处理下大豆产量及产量构成均显著增加,且在一定

范围内随密度的增加其增效更明显(表 6),表明了较高密度下合理化控的必要性。与之前生产上普遍推广应用的南豆 12、贡选 1 号的适宜密度 9~12 万株·hm⁻²相比,南夏豆 25 对密度的要求更大,其群体产量的提高更依赖于密度的增加。

因此,在进一步推广应用高产、早熟南夏豆 25 时,应在充分发挥其单株生产潜力的情况下适宜增加密度,依靠群体密度的增加来提高作物产量。同时在大豆生产关键时期进行合理化控,调控作物群体生长特征,减少倒伏的发生。

参考文献

[1] Yang F, Huang S, Gao R C, et al. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio[J]. Field Crop Research, 2014,155:245-253.

[2] 刘卫国,宋颖,邹俊林,等. LED 灯模拟作物间作套种群体内光环境的设计与应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 288-292. (Liu W G, Song Y, Zou J L, et al. Design and effect of LED simulated illumination environment on intercropping population[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(8):288-292.)

[3] 高仁才,杨峰,廖敦平,等. 行距配置对套作大豆冠层光环境及其形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学,2015,34(4): 611-615. (Gao R C, Yang F, Liao D P, et al. Effects of different row spacings of maize on light environment, morphological characteristics and yield of soybeans in a relay intercropping system[J]. Soybean Science, 2015,34(4):611-615.)

[4] 宋艳霞,杨文钰,李卓玺,等. 不同大豆品种幼苗叶片光合及叶绿素荧光特性对套作遮荫的响应[J]. 中国油料作物学报, 2009,31(4): 474-479. (Song Y X, Yang W Y, Li Z X, et al. The effects of shading on photosynthetic and fluorescent characteristics of soybean seedlings under maize-soybean relay cropping [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(4): 474-479.)

[5] 王竹,杨文钰,吴其林. 玉/豆套作荫蔽对大豆光合特性与产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1502-1507. (Wang Z, Yang W Y, Wu Q L, et al. Effects of shading in maize/soybean relay-cropping system on the photosynthetic characteristics and yield of soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(9): 1502-1507.)

[6] 刘卫国,蒋涛,余跃辉,等. 大豆苗期茎秆对荫蔽胁迫响应的

- 生理机制初探[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 141-146. (Liu W G, Jiang T, She Y H, et al. Preliminary study on physiological response mechanism of soybean stem to shade stress at seedling stage [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(2): 141-146.)
- [7] 陈小林, 杨文钰, 陈忠群, 等. 不同施氮水平下净、套作大豆茎秆特征比较研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 101-104. (Chen X L, Yang W Y, Chen Z Q, et al. Characteristics of stem between sole-cropping and relay-cropping soybean under different nitrogen applied levels [J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 101-104.)
- [8] 王一, 杨文钰, 张霞, 等. 不同生育时期遮阴对大豆形态和产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1871-1879. (Wang Y, Yang W Y, Zhang X, et al. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(10): 1871-1879.)
- [9] 许俊伟, 孟天瑶, 荆培培, 等. 机插密度对不同类型水稻抗倒伏能力及产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1767-1776. (Xu J W, Meng T Y, Jing P P, et al. Effect of mechanical-transplanting density on lodging resistance and yield in different types of rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(11): 1767-1776.)
- [10] 胡雅杰, 曹伟伟, 钱海军, 等. 钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 743-757. (Hu Y J, Cao W W, Qian H J, et al. Effect of planting density of mechanically transplanted pot seedlings on yield, plant type and lodging resistance in rice with different panicle types [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(5): 743-757.)
- [11] 龚万灼, 张正翼, 杨文钰, 等. 烯效唑拌种对大豆形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 369-372. (Gong W Z, Zhang Z Y, Yang W Y, et al. Effect of uniconazole for dry seed treatment on morphological characteristics and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(3): 369-372.)
- [12] Yan Y H, Gong W Z, Yang W Y, et al. Seed treatment with uniconazole powder improve soybean seedling growth under shading by corn in relay strip intercropping system [J]. Plant Production Science, 2010, 13(4): 367-374.
- [13] 闫艳红, 杨文钰, 张新全, 等. 套作遮荫条件下烯效唑对大豆壮苗机理的研究[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(3): 259-264. (Yan Y H, Yang W Y, Zhang X Q, et al. Improve soybean seedling growth by uniconazole under shading by corn in relay strip intercropping system [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(3): 259-264.)
- [14] 闫艳红, 杨文钰, 张静, 等. 叶面喷施烯效唑对大豆产量及品质的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 251-254. (Yan Y H, Yang W Y, Zhang J, et al. Effect of spraying uniconazole on soybean yield and quality [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4): 251-254.)
- [15] 蒯婕, 孙盈盈, 左青松, 等. 机械收获模式下直播冬油菜密度与行距的优化[J]. 作物学报, 2016, 42(6): 898-908. (Kuai J, Sun Y Y, Zuo Q S, et al. Optimization of plant density and row spacing for mechanical harvest in winter rapeseed [J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42(6): 898-908.)
- [16] 李春红, 姚兴东, 鞠宝韬, 等. 不同基因型大豆耐荫性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2927-2939. (Li C H, Yao X D, Ju B D, et al. Analysis of shade-tolerance and determination of shade-tolerance evaluation indicators in different soybean genotypes [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(15): 2927-2939.)
- [17] 李峰, 赵东华, 杨立全, 等. 玉米抗倒强度及其与植株性状相关性的初步研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(10): 24-28. (Li F, Zhao D H, Yang L Q, et al. Preliminary study on maize lodging-resistance intensity and its correlations with plant traits [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 45(10): 24-28.)
- [18] 肖应辉, 罗丽华, 闫晓燕, 等. 水稻品种倒伏指数 QTL 分析[J]. 作物学报, 2005, 31(3): 348-354. (Xiao Y H, Luo L H, Yan X Y, et al. Quantitative trait locus analysis of lodging index in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(3): 348-354.)
- [19] Kashiwagi T, Tshimaru K. Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice [J]. Plant Physiology, 2004, 134(2): 676-683.
- [20] 贺春林, 李卫东, 薛应离. 夏大豆品种抗倒伏性的遗传研究[J]. 河南农业大学学报, 1993, 27(2): 196-200. (He C L, Li W D, Xue Y L, et al. Genetic study on lodging resistance of soybean varieties [J]. Acta Agronomicae Universitatis Henanensis, 1993, 27(2): 196-200.)
- [21] 朱聪聪, 张洪程, 郭保卫, 等. 钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 作物学报, 2014, 40: 122-133. (Zhu C C, Zhang H C, Guo B W, et al. Effect of planting density on yield and photosynthate production characteristics in different types of rice with bowl mechanical-transplanting method [J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40: 122-133.)
- [22] 武晓玲, 梁海媛, 杨峰, 等. 大豆苗期耐荫性综合评价及其鉴定指标的筛选[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2497-2507. (Wu X L, Liang H Y, Yang F, et al. Comprehensive evaluation and screening identification indexes of shade tolerance at seedling in soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(13): 2497-2507.)
- [23] 王一, 杨文钰, 张霞, 等. 不同生育时期遮阴对大豆形态性状和产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1871-1879. (Wang Y, Yang W Y, Zhang X, et al. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(10): 1871-1879.)
- [24] 吴兵, 高玉红, 谢亚萍, 等. 种植密度对一膜两年用胡麻灌浆速率水分利用效率及产量的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(12): 1912-1919. (Wu B, Gao Y H, Xie Y P, et al. Effects of planting density on filling rate, water use efficiency and yield for one film used two years of oil flax [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(12): 1912-1919.)
- [25] 张永强, 张娜, 唐江华, 等. 密度对北疆复播大豆荚粒时空分布及产量形成的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(2): 179-184. (Zhang Y Q, Zhang N, Tang J H, et al. Effects of planting density on yield formation and tempo-spatial distribution of pod and seed of summer soybean in North Xinjiang [J]. Soybean Science, 2014, 33(2): 179-184.)
- [26] 何世炜, 常生华. 大豆播种密度对子实产量及其构成因素影响的研究[J]. 草业科学, 2005, 14(5): 43-47. (He S W, Chang S H. The effect of *Glycine max* sowing density on seeds yield and plant morphology [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(5): 43-47.)