



# 不同根腐病防控方法对四川省间作大豆农艺性状和产量影响

于晓波,梁建秋,何泽民,曾召琼,冯 军,吴海英,张明荣

(南充市农业科学院,四川 南充 637000)

**摘要:**为了给四川省丘陵地区间作大豆根腐病防控提供科学依据,选用两种根腐病防控药剂对间作大豆进行处理,分析不同防治药剂、方式及时间对根腐病防控效果及植株农艺性状和产量的影响。结果表明:所有药剂处理均能显著抑制根腐病的发病率,降低病情指数,其中噁霜·锰锌拌种效果最为明显,使发病率由 78.7% 下降至 38.7%,病情指数降低 0.106;随着防治时间的延迟植株的发病率呈上升趋势,相对防效逐渐下降,且药剂间的防效差异更为明显。拌种和 3 叶期喷施噁霜·锰锌能够增加植株节数、株高和茎粗,5 叶期喷施药剂则无明显改善。药剂防治能够有效提升大豆有效荚数,降低无效荚数。与 CK 相比,百粒重在各处理下均显著增加,B1 处理下大豆单株粒数和粒重显著增加,均以 A2B1 处理最高,分别增加 32.08%、10.67% 和 28.99%;不同防治方式及时间处理下,百粒重差异显著,单株粒数 B1 显著高于 B3,单株粒重间无显著差异。多菌灵拌种和 3 叶期喷施均能显著提高大豆产量,分别增产 20.07% 和 11.65%;噁霜·锰锌处理下各时期防治产量均显著高于 CK,增幅为 9.29% ~ 23.82%。

**关键词:**大豆;间作;根腐病;多菌灵;噁霜·锰锌;防控效果;产量

## Effects of Different Root Rot Control Methods on Agronomic Characters and Yield of Intercropping Soybean in Sichuan

YU Xiao-bo, LIANG Jian-qiu, HE Ze-min, ZENG Zhao-qiong, FENG Jun, WU Hai-ying, ZHANG Ming-rong

(Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 63700, China)

**Abstract:** In order to provide a scientific reference for the prevention of soybean root rot in hilly area of Sichuan Province, Carbendazim and Oxadixyl Anchor were used to control root rot in maize-soybean relay strip intercropping. The control effect, agronomic traits and yield were investigated. It was found that incidence rate decreased significantly with different medicaments, methods and control times. The incidence rate decreased from 78.7% to 38.7% and disease index decreased 0.106, respectively with seed dressing of Oxadixyl Anchor. The incidence rate increased and relative control effect decreased with the delay of control time. The nod number, plant height and stem diameter all increased with seed dressing and spraying at 3-leaf stage with Oxadixyl Anchor. The valid pod increased and invalid pod decreased with different medicament. The 100-seed weight increased significantly under all treatments, seed number and weight per plant increased significantly in B1 treatment, and A2B1 was the best treatment, increased by 32.08%, 10.67% and 28.99% than CK respectively. With different control times, there was significant difference in 100-seed weight and no significant difference in seed weight per plant. The seed number per plant of B1 was significantly higher than that of B3. Seed dressing with Carbendazim and spraying at 3-leaf stage could significantly increase soybean yield by 20.07% and 11.65% respectively, and yield increased by 9.29% - 23.82% with the treatment of Oxadixyl Anchor.

**Keywords:** Soybean; Intercropping; Root rot; Carbendazim; Oxadixyl Anchor; Control effect; Yield

大豆(*Glycine max*)是我国重要的油料作物,同时也是优质食用蛋白和饲料蛋白的主要来源。随着我国大豆供需矛盾的紧张和国家政策的调控,大豆在农业种植业结构调整中的作用更为重要<sup>[1]</sup>。大豆根腐病(soybean root rot)是一种分布范围广、危害性大、防治困难的典型土传病害,被列为大豆生产中的毁灭性病害之一<sup>[2-3]</sup>。大豆苗期感染根腐病后地上部的叶片由下而上逐渐变黄,随着生育期的推进感病植株呈现植株矮化、叶片枯萎、茎秆变浅褐色、植株易折断等特征,产量形

成过程中结荚数量减少、鼓粒能力差<sup>[4-5]</sup>,最终造成产量损失 10% ~ 30%,重症产区可减产 60%。抗病、耐病品种的筛选与选育是防治根腐病最经济有效的途径<sup>[6-8]</sup>,但由于病原菌的生理小种众多以及病原菌的变异,使得抗性品种的利用极易受限<sup>[9-10]</sup>。农业防治主要通过减少土壤积水、增强透气性来破坏病原菌的繁殖条件,受天气、土壤、农田设施水平、田间管理措施等多种因素的影响,根腐病可控性和防治成本偏高<sup>[11]</sup>。化学防治以种子包衣剂处理、喷施真菌杀菌剂等措施为主,是当前

收稿日期:2021-02-24

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-04-CES25);四川省大豆育种攻关项目(2016NYZ0031);国家现代农业产业技术体系四川省豆类杂粮创新团队项目(SCCXTD-2020-21);农业部川渝薯类与大豆科学观测实验站支持资助。

第一作者:于晓波(1985—),男,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail:bo0524@163.com。

通讯作者:梁建秋(1983—),女,硕士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail:liangjianqiu142@163.com。

病害防控最为快速、经济和易操作的手段。在化学农药不能被普遍替代的情况下,研究高效安全的大豆病害防治技术,减少农药投入,实现农作物病害可持续治理,具有巨大的社会、经济和科技发展意义<sup>[12]</sup>。

间套作模式作为一种高产高效的农业生产模式,系统内的多样生物能够充分利用光照、水分和养分资源,提高土地利用效率和收获指数<sup>[13-14]</sup>。近年来我国西南地区套作大豆的迅速发展和稳定提高了区域粮食生产能力,推动了全国大豆面积的增加。玉米-大豆带状间套作种植模式下,少耕、免耕、秸秆还田等耕作栽培措施对丘陵地区农田的保土保水、提升土壤有机质等方面起到了积极作用,但也为部分病原菌的越冬、侵染和传播创造了条件<sup>[15-16]</sup>,加之四川丘区土壤黏重,雨后排水性和透气性差,多种因素的存在导致大豆生产中根腐病极易发生和蔓延。当前四川根腐病的防控药剂以多菌灵为主,主要在发病初期以400~500倍液喷雾根茎进行防治,间隔7 d,共2~3次<sup>[17]</sup>,但长期连续使用多菌灵容易使病菌产生抗性。噁霜·锰锌的主要成分代森锰锌为优良的保护性杀菌剂,可与多种化肥、非碱性农药混合使用,杀菌范围广、防治效果好且不易产生抗性。本研究选取生产中常用的两种病害防控药剂多菌灵和噁霜·锰锌,分析不同的处理药剂、方式和时间对大豆根腐病防控、植株生长和产量及其构成的影响,以期为四川省丘区玉米间作大豆模式下的大豆根腐病化学防控提供指导和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为南夏豆25。

1.2 试验设计

试验于2018年6—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(30°53'N, 105°37'E)。供试土壤为紫色壤土,pH6.64,土壤耕层基础肥力为:有机质13.7 g·kg<sup>-1</sup>,全氮1.71 g·kg<sup>-1</sup>,全磷0.92 g·kg<sup>-1</sup>,全钾34.73 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮6.68 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷6.10 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾117.25 mg·kg<sup>-1</sup>。

试验在玉米间作大豆模式下开展,玉米-大豆幅宽比为40 cm:180 cm。间作玉米品种为圣玉6号(株型紧凑,株高260 cm),种植2行,行距40 cm,穴距40 cm,每穴2株,密度为4.5万株·hm<sup>-2</sup>;大豆种植3行,行距40 cm,穴距25 cm,每穴2株,密度为10.9万株·hm<sup>-2</sup>。

本试验采用二因随机区组试验设计,A因素为药剂:A1-多菌灵(农百金,有效成分50%的可湿性粉剂,江阴福达农化股份有限公司);A2-噁霜·锰锌(杀毒矾,噁霜灵含量8%、代森锰锌含量56%的可湿性粉剂,先正达(苏州)作物保护有限公司)。B因素为防治方式及时间:B1-拌种;B2-3叶期喷雾1次;B3-5叶期喷雾1次。大豆种植前种子用0.1% HgCl进行消毒,田间管理按常规进行。全生育期不防治为对照(CK)。试验期间月降水量和平均温度情况如图1所示。

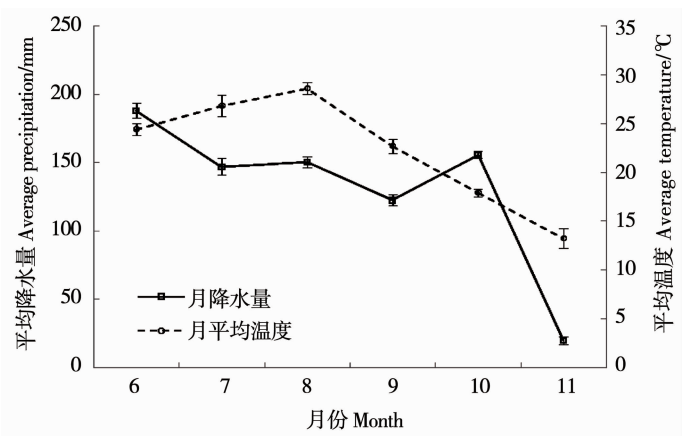


图1 试验期间月平均降水量与平均温度

Fig.1 The monthly precipitation and temperature during the experimental year

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根腐病调查 分枝期进行调查取样,采用对角线5点法取样,每点10株,观察记载发病株数及级别,并计算发病率、病情指数和相对防治效果。

发病率(%)=(发病株数÷调查总株数)×100;

病情指数=Σ(各级病株数×该病级数)÷(调查总株数×最高级值)×100;

相对防治效果(%)=(对照病情指数-处理病情指数)÷对照病情指数×100。

1.3.2 农艺性状 结荚盛期(R5)每小区连续取样

20 株,测定大豆株高、茎粗(基部第一节间)、主茎节数。

1.3.3 产量性状 于大豆成熟期每小区连续取样 20 株进行考种,调查单株有效荚数、无效荚数、单株粒数、百粒重等产量性状指标,剩余植株全部收获籽粒。

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析,采用 LSD 法分析差异显著性。百分比进行方差分析前,先转变为小数,然后进行反正弦平方根换算(非角度),再进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆根腐病防控效果的影响

由表 1 可知,不同处理均能显著抑制根腐病的

发病率,降低其病情指数( $P < 0.05$ )。其中 A2B1 处理下防控效果最为明显,与 CK 相比,发病率由 78.7% 下降至 38.7%,病情指数降低 0.106。从药剂、防治方式及时间来看,不同处理间的植株发病率、病情指数和相对防控效果均呈显著( $P < 0.05$ )或极显著( $P < 0.01$ )差异。与 A1 相比,A2 能够更好地抑制根腐病发生,并降低发病程度。随着防治时间的延迟植株的发病率呈上升趋势,B3 显著高于 B1 和 B2 处理;A1 处理下 B3 病情指数显著高于 B1 处理,A2 处理下各防治方式间的病情指数则无显著差异,随着防治时间的推迟不同药剂间的防效差异更为明显。相对防控效果随防治时间的延迟而下降,且 A1 的下降幅度明显大于 A2 处理,A1 处理下 B1、B2、B3 间差异显著,A2 处理下 B1 显著高于 B3 处理,B2 与 B1 和 B3 差异不显著。

表 1 不同处理的根腐病防控效果

Table 1 The control effects of different treatments to soybean root rot

处理 Treatment	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index	相对防控效果 Control effect/%
A1B1	43.3 ± 1.2 de	0.167 ± 0.007 c	35.08 ± 0.08 b
A1B2	45.3 ± 4.2 d	0.183 ± 0.025 bc	28.11 ± 0.16 c
A1B3	64.0 ± 4.1 b	0.211 ± 0.018 b	17.91 ± 0.13 d
A2B1	38.7 ± 5.0 e	0.153 ± 0.021 c	40.52 ± 0.09 a
A2B2	40.0 ± 4.0 de	0.162 ± 0.020 c	37.61 ± 0.03 ab
A2B3	53.3 ± 2.3 c	0.176 ± 0.019 c	31.17 ± 0.13 b
CK	78.7 ± 1.1 a	0.259 ± 0.024 a	—
A	17.574 **	7.684 *	7.072 *
B	42.115 **	8.749 *	9.483 **
A × B	1.197	0.104	1.045

不同小写字母表示处理间在 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。  
Different lowercase within the same column indicate significantly different at  $P < 0.05$ ; \* and \*\* indicate significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

2.2 不同处理对大豆植株农艺性状的影响

由表 2 可知,大豆株高和茎粗均表现为在不同药剂处理下差异显著( $P < 0.05$ ),不同防治方式及时间处理下差异极显著( $P < 0.01$ )。与 CK 相比,B1 处理下的株高和茎粗均显著增加,B2 处理下则表现为 A2B2 处理显著增加,A1B2 处理无显著变化,B<sub>3</sub> 处理下均不显著。表明 2 种药剂拌种和 3 叶

期喷施噁霜·锰锌均能够促进植株高度和粗度的增加,5 叶期喷施药剂则无明显改善。

不同防治方式及时间处理下大豆主茎节数差异极显著( $P < 0.01$ )。与 CK 相比,B1 和 B2 处理下大豆主茎节数均显著增加,且 B1 显著高于 B2 处理,表明拌种和 3 叶期喷施药剂均能够有效促进植株节数的增加,拌种的效果较 3 叶期喷施更好。

表 2 不同处理的大豆植株农艺性状

Table 2 The agronomic traits of different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	主茎节数 Node number	平均节间长 Internode length/cm
A1B1	86.3 ± 4.4 ab	6.921 ± 0.229 a	15.02 ± 0.23 ab	5.81 ± 0.31 a
A1B2	82.5 ± 2.7 bc	6.454 ± 0.402 bc	14.35 ± 0.59 cd	5.76 ± 0.29 a
A1B3	78.4 ± 4.3 c	6.206 ± 0.085 c	14.07 ± 0.19 de	5.58 ± 0.37 a

续表 2

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	主茎节数 Node number	平均节间长 Internode length/cm
A2B1	92.7 ± 5.2 a	7.297 ± 0.271 a	15.40 ± 0.23 a	6.02 ± 0.25 a
A2B2	87.9 ± 5.3 ab	6.855 ± 0.291 ab	14.82 ± 0.26 bc	5.93 ± 0.26 a
A2B3	83.0 ± 1.9 bc	6.279 ± 0.079 c	14.10 ± 0.17 de	5.89 ± 0.20 a
CK	79.2 ± 2.8 c	6.041 ± 0.145 c	13.60 ± 0.19 e	5.82 ± 0.14 a
A	6.875 *	5.619 *	3.967	2.924
B	7.524 **	17.531 **	19.528 **	0.630
A × B	0.019	0.778	0.830	0.101

2.3 不同处理对大豆产量性状的影响

由表 3 可知,不同药剂处理下大豆有效荚数、无效荚数和总荚数差异显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ),有效荚率差异不显著 ( $P > 0.05$ );不同防治方式及时间处理下有效荚数、无效荚数和有效荚率差异均极显著 ( $P < 0.01$ ),总荚数差异不显著 ( $P > 0.05$ )。与 CK 相比,大豆有效荚数在 B1 处理均显著增加,无效荚数表现为除 A2B3 处理外均显著减少,表明药剂防治能够有效提升大豆有效荚数,降低无效荚数,且以拌种处理表现最好;有效荚率则表现为除 A2B3 处理外均显著增加,且各防治方式及时间处理间差异显著,随着防治时间的推迟而下降,以拌种处理效果最为明显。

不同药剂处理下大豆单株粒数和百粒重差异显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ),单株粒重无显著差异 ( $P > 0.05$ );不同防治方式及时间处理下单株粒数和百粒重差异均极显著 ( $P < 0.01$ ),单株粒重差异显著 ( $P < 0.05$ )。

与 CK 相比,百粒重在各处理下均显著增加,单株粒数表现为 B1 和 B2 处理下显著增加,单株粒重则仅在 B1 处理下显著增加,且均以 A2B1 处理最为明显,分别增加 32.08%、10.67% 和 28.99%。从防治方式及时间看,各处理间百粒重均差异显著,B1 的单株粒数显著高于 B3 处理,单株粒重则表现为处理间均无显著差异,这可能与不饱满籽粒数量的增多有关。

表 3 不同处理下的大豆产量性状  
Table 3 The yield components of different treatments

处理 Treatment	有效荚数 Valid pod number	无效荚数 Invalid pod number	总荚数 Total pod number	有效荚率 Valid pod percent/%	单株粒数 Seeds number per number	百粒重 100-seed weight/g	单株粒重 Seeds weight per plant/g
A1B1	38.2 ± 2.6 b	7.6 ± 0.7 d	45.8 ± 3.3 b	83.4 ± 0.7 a	60.2 ± 2.8 b	24.1 ± 0.2 ab	12.9 ± 1.3 ab
A1B2	35.1 ± 1.6 bcd	10.2 ± 0.5 c	45.3 ± 2.2 b	77.5 ± 0.2 b	54.9 ± 3.8 bc	23.3 ± 0.2 c	11.6 ± 0.9 bc
A1B3	33.0 ± 1.5 d	11.7 ± 0.5 b	44.7 ± 1.2 b	73.8 ± 1.5 c	52.8 ± 3.6 cd	22.8 ± 0.2 d	11.0 ± 1.0 bc
A2B1	42.2 ± 3.1 a	8.0 ± 0.5 d	50.2 ± 3.5 a	84.1 ± 0.6 a	66.7 ± 3.4 a	24.4 ± 0.2 a	13.6 ± 1.4 a
A2B2	37.1 ± 1.0 bc	11.5 ± 0.7 b	48.6 ± 1.7 ab	76.3 ± 0.7 b	58.6 ± 2.1 bc	23.9 ± 0.2 b	12.2 ± 0.6 abc
A2B3	33.8 ± 1.4 cd	13.0 ± 1.0 a	46.8 ± 0.5 ab	72.2 ± 2.3 cd	53.4 ± 2.2 cd	23.2 ± 0.2 c	11.7 ± 0.6 abc
CK	32.2 ± 1.5 d	13.3 ± 0.4 a	45.5 ± 1.1 b	70.8 ± 1.5 d	50.5 ± 1.8 d	22.0 ± 0.2 e	10.5 ± 0.7 c
A	5.706 *	9.783 **	8.863 *	1.311	7.174 *	21.928 **	2.017
B	17.361 **	70.12 **	1.404	134.93 **	18.858 **	54.201 **	5.183 *
A × B	0.968	0.88	0.366	1.521	1.043	0.928	0.002

2.4 不同处理对大豆产量的影响

不同药剂和防治方式能够有效提高大豆产量 ( $P < 0.05$ )。与 CK 相比,A1 处理下拌种和 3 叶期喷施均能显著提高大豆产量,分别增产 20.07% 和 11.65%;A2 处理下各时期防治均显著

高于 CK,增产幅度为 9.29% ~ 23.82%。从防治方式及时间看,B1 均显著高于 B2 处理,且 B2 高于 B3 处理,表明拌种效果较喷施更好,随着喷施防治时间的推迟防治效果逐渐下降。

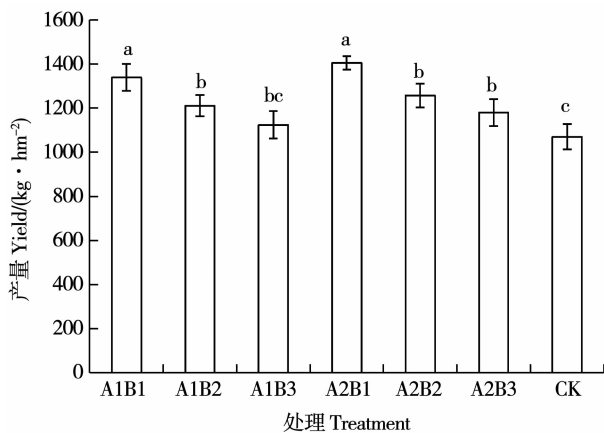


图2 不同处理对大豆产量的影响

Fig.2 The effects of different treatments on soybean yield

2.5 相关性分析

对防控效果与农艺性状和产量进行相关性分析发现,根腐病相对防控效果与株高、茎粗和主茎节数均呈显著正相关(0.824、0.830 和 0.871),有效防控根腐病能够改善植株的伸长生长,同时保证茎秆出的横向生长;与有效荚数、粒数、百粒重等产量构成和产量均呈显著或极显著正相关(0.787、0.793、0.950 和 0.865),通过防控根腐病能够增加大豆籽粒数量,促进籽粒填充从而提高产量。

3 讨论

随着大豆种植面积在世界范围的增加以及国内种植业的调整,大豆病害的发生频率和危害程度也在逐渐增加<sup>[3]</sup>。根腐病在大豆生长的各阶段均会发生,且危害面积大、程度极其严重,目前在大豆主产区仍呈蔓延趋势。东北大豆主产区利用生物菌剂拌种对种子进行拌种,对根腐病的防控效果能够达到 47.80% ~ 64.08%,极显著的优于对照处理<sup>[18-19]</sup>。在根腐病防控时,种子包衣处理和生长期叶片喷施药剂均可以促进大豆幼苗生长,增加大豆叶片的叶绿素、蛋白质和可溶性糖含量,提高幼苗生理活性,增强其对根腐病的抵抗能力,且包衣处理的防控效果优于叶面喷施<sup>[20]</sup>。针对四川省特殊的寡照多雨生态气候和间套作复合种植模式,通过菌丝生长速率法和室内盆栽苗验证,发现生长调节剂、杀虫剂和抗生素等多种药剂的配合使用对根腐病的防控效果较好,防控效果能够达到 80% 以上<sup>[21-22]</sup>。本试验条件下,两种药剂在拌种和喷施处理下均能有效地抑制根腐病的发病率,降低病情指数,减轻根腐病的危害程度,说明化学防治仍能够有效预防和控制根腐病发生与蔓延。同时其经济、便捷的特点使其将在生产上持续发挥重要作

用<sup>[23]</sup>。噁霜·锰锌在拌种和喷施处理下的防控效果均优于多菌灵,这可能是由于引起大豆根腐病的病原菌不止一种,属于复合侵染,两种药剂的有效成分对不同病原菌的防控效果不同<sup>[22,24]</sup>;同时可能与多菌灵长期使用引起致病菌产生部分抗性,而噁霜·锰锌则不易诱发抗性产生有关。由于病原菌对大豆根系的侵染在各生长阶段均可能发生<sup>[25]</sup>,使得药剂防控效果随着防治时间的推迟而下降,且药剂间防效差异更为明显。鉴于生产用种普遍带菌<sup>[26-27]</sup>,且四川间作模式下大豆生长处于相对高温高湿的环境下,因此建议大面积生产应采用拌种的方式来防控根腐病。

大豆根系不仅具有养分和水分的吸收以及信号传递功能,在调控地上部组织的生长和发育中以及产量形成过程中起着极为重要的作用<sup>[28-30]</sup>。根腐病发生后大豆侧根和须根脱落,主根下扎深度减小,严重影响根系直径、体积等形态指标及根系干物质的积累,根系活力显著下降,抑制地上部干物质的积累及单株粒重、百粒重等产量构成因素,从而引起大豆减产<sup>[31-32]</sup>。根系正常生长受到抑制后,对水分和养分的获取能力下降,直接影响地上部的正常生长。通过种衣剂进行拌种等方式则能够显著降低根腐病发病率和苗期死苗数,同时提高大豆叶面积和生物量积累,进而提高大豆产量 30% 左右<sup>[33]</sup>。本试验条件下,相对防控效果与株高和茎粗呈显著正相关,健康的根系有利于促进大豆植株高度和茎秆粗度的增加<sup>[34-35]</sup>;与单株粒数和百粒重呈显著或极显著的正相关,表明健康的根系是产量形成的基础,特别是在籽粒灌浆期间持续和充足的水分供应是营养物质运输与分配的保证<sup>[36-37]</sup>,而籽粒灌浆期至成熟期四川省正处于雨季气温仍然较高,极利于根腐病的发生,因此必须加强根腐病的防

控。相关分析表明,有效荚数与株高和主茎节数均呈极显著正相关,表明节数和植株高度的增加为大豆有效荚的形成提供了更多的着生位置和生长空间,合理的株型构建是作物产量形成的基础<sup>[38]</sup>。

4 结 论

根腐病是四川省间作大豆根部病害防控的主要对象。与生产上常用的多菌灵喷雾防治相比,噁霜·锰锌拌种防控更加便捷、高效,能有效保障植株的正常生长和产量形成,建议在四川省丘陵地区间作大豆生产上推广应用。

参考文献

[1] Du J B, Han T F, Gai J Y, et al. Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(4): 747-754.

[2] 成榕,董铮,李魏,等. 大豆根腐病研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(8): 58-62. (Cheng R, Dong Z, Li W, et al. Research progress of soybean root rot [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(8): 58-62. )

[3] 袁咏天,叶文武,曾丹丹,等. 基于环介导等温扩增技术检测东北地区大豆主要品种种子携带的病原菌[J]. 大豆科学, 2017, 36(4): 592-597. (Yuan Y T, Ye W W, Zeng D D, et al. Detection of soybean seed-borne pathogens in Northeast China using loop-mediated isothermal amplification assays [J]. Soybean Science, 2017, 36(4): 592-597. )

[4] 白丽艳. 大豆根腐病病原种类鉴定及分子检测技术研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009. (Bai L Y. Identification and molecular detection of soybean root rot pathogen [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009. )

[5] 马家新. 大豆根腐病拮抗内生细菌的筛选鉴定及其生防效果 [D]. 南京: 南京农业大学, 2018. (Ma J X. Isolation of soybean endophytic bacteria as candidate biological control agents for soybean root rot disease control [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018. )

[6] 马淑梅. 黑龙江省大豆根腐病致病病原种类分布及抗病种质鉴定[J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 230-235. (Ma S M. Pathogenic pathogen categories distribution and germplasm resistance identification of soybean root rot in Heilongjiang Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(27): 230-235. )

[7] Sugimoto T, Watanabe K, Yoshida S, et al. Field application of calcium to reduce *Phytophthora* stem rot of soybean, and calcium distribution in plants[J]. Plant Disease, 2010, 94: 812-819.

[8] Sun J T, Li L H, Zhao J M, et al. Genetic analysis and fine mapping of RpsJS, a novel resistance gene to *Phytophthora sojae* in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] [J]. Theoretical Applied Genetics, 2014, 127: 913-919.

[9] Yang B, Wang Q Q, Jing M F, et al. Distinct regions of the *Phytophthora* essential effector Avh238 determine its function in cell

death activation and plant immunity suppression [J]. New Phytology, 2017, 214: 361-375.

[10] Lee S, Mian M A R, Sneller C H, et al. Joint linkage QTL analyses for partial resistance to *Phytophthora sojae* in soybean using six nested inbred populations with heterogeneous conditions [J]. Theoretical Applied Genetics, 2014, 127: 429-444.

[11] 李长松. 大豆根腐病的研究概况[J]. 中国油料, 1993(1): 79-83. (Li C S. Research overview of soybean root rot [J]. Oil Crops of China, 1993(1): 79-83. )

[12] 朱春雨, 吴新平, 刘西莉, 等. 防控大豆病害的农药登记现状及发展对策[J]. 植物保护, 2011, 36(1): 9-14. (Zhu C Y, Wu X P, Liu X L, et al. Present situation and developing strategies for registered agrochemicals used for the control of soybean diseases [J]. Plant Protection, 2011, 36(1): 9-14. )

[13] 雍太文, 刘小明, 宋春, 等. 种植方式对玉米-大豆套作体系中作物产量、养分吸收和种间竞争的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 659-667. (Yong T W, Liu X M, Song C, et al. Effect of planting patterns on crop yield, nutrients uptake and interspecific competition in maize-soybean relay intercropping system [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 659-667. )

[14] 苏本营, 陈圣宾, 李永庚, 等. 间套作种植提升农田生态系统服务功能[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4505-4514. (Su B Y, Chen S B, Li Y G, et al. Intercropping enhances the farmland ecosystem services [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4505-4514. )

[15] 田慧, 谭周进, 屠乃美, 等. 少免耕土壤生态学效应研究进展[J]. 耕作与栽培, 2006(5): 10-12. (Tian H, Tan Z J, Tu N M, et al. Research progress on soil ecological effects of no tillage [J]. Tillage and Cultivation, 2006, (5): 10-12. )

[16] 李红菊, 李晓迪, 陈思怡, 等. 套作大豆根腐病与玉米茎腐病致病镰孢菌的相互侵染关系研究[J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(5): 551-557. (Li H J, Li X D, Chen S Y, et al. Infection relationship of *Fusarium spp.* causing soybean root rot and maize stalk rot in maize-soybean relay strip intercropping [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2020, 38(5): 551-557. )

[17] 张明荣, 吴海英, 于晓波, 等. 四川大豆重发生病虫害根腐病、豆秆黑潜蝇的防治技术[J]. 大豆科技, 2010(4): 56-57. (Zhang M R, Wu H Y, Yu X B, et al. Prevention techniques of soybean root rot and *Liriomyza sativae* in Sichuan Province [J]. Soybean Science and Technology, 2010(4): 56-57)

[18] 顾鑫, 杨晓贺, 姚亮亮, 等. 东北大豆杀菌剂减施增效技术研究[J]. 农学学报, 2020, 10(8): 28-32. (Gu X, Yang X H, Yao L L, et al. Fungicides on soybean in Northeast China: Reducing application and increasing efficiency [J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(8): 28-32. )

[19] 姚亮亮, 顾鑫, 杨晓贺, 等. 三江平原地区大豆杀菌剂减施增效试验[J]. 黑龙江农业科学, 2020(9): 57-59. (Yao L L, Gu X, Yang X H, et al. Experiment of reducing application and increasing efficiency of soybean fungicides in Sanjiang Plain Area [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020(9): 57-59. )

[20] 陈井生, 宫远福, 李海燕, 等. 生物制剂杀力素不同处理方式对大豆胞囊线虫及根腐病防效的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37

(4):643-646. ( Chen J S, Gong Y F, Li H Y, et al. Effect of different treatments of biocontrol agent *Helisu* on soybean cyst nematode and root rot control effect[J]. *Soybean Science*,2018,37 (4):643-646. )

[21] 王奥霖,谭兆岩,王对平,等. 20% 烯·戊·恶种衣剂研制对大豆镰胞根腐病的防效[J]. *植物保护*, 2019, 45 (3): 230-236. ( Wang A L, Tan Z Y, Wang D P, et al. Formulation of uniconazole · tebuconazole · hymexazol 20% FSC and control efficacy on *Fusarium* root rot of soybean[J]. *Plant Protection*,2019,45 (3): 230-236. )

[22] 谭兆岩,康泽,黄浩南,等. 8% 烯丙阿悬浮种衣剂研制及对大豆镰胞菌根腐病的防效[J]. *核农学报*, 2020, 34 (5): 954-962. ( Tan Z Y, Kang Z, Huang H N, et al. Development of 8% Uniconzole Propiconazole Abamectin suspension seed coating agent and its control effect against *Fusarium* root rot of soybean [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Science*,2020,34(5):954-962. )

[23] 叶文武,郑小波,王源超. 大豆根腐病监测与防控关键技术研究进展[J]. *大豆科学*, 2020, 39 (5): 804-809. ( Ye W W, Zheng X B, Wang Y C. Research progress on key technologies for monitoring and control of soybean root rot[J]. *Soybean Science*, 2020, 39 (5): 804-809. )

[24] Feng H, Chen J J, Yu Z, et al. Pathogenicity and fungicide sensitivity of *Pythium* and *Phytophthium* spp. associated with soybean in the Huang-Huai Region of China[J]. *Plant Pathology*, 2020, 69 (6): 1083-1092.

[25] Ye W W, Zeng D D, Xu M, et al. A LAMP-assay-based specific microbiota analysis reveals community dynamics and potential interactions of 13 major soybean root pathogens [J]. *Journal of Integrative Agriculture*,2020,19(8):2056-2063.

[26] 曾丹丹,张海峰,田擎,等. 基于环介导等温扩增技术检测黄淮海地区大豆主栽品种种子携带的病原菌[J]. *南京农业大学学报*, 2016, 39 (6): 947-953. ( Zeng D D, Zhang H F, Tian Q, et al. Detection of soybean seed-borne pathogens in Huang-Huai Area using LAMP assays [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*,2016,39(6):947-953. )

[27] Yang J, Ye W W, Wang X M, et al. An improved method for identification of soybean resistance to *Phytophthora sojae* applied to germplasm resources from the Huanghuaihai and Dongbei regions of China[J]. *Plant Disease*,2020,104(2):408-413.

[28] Smith D M, Inman-Bamber N G, Thorburn P J. Growth and function of the sugarcane root system[J]. *Field Crop Research*,2005,92: 169-183.

[29] Wang B, Lai T, Huang Q W, et al. Effects of N fertilizers on root growth and endogenous hormones in strawberry[J]. *Pedosphere*, 2009, 19: 86-95.

[30] Atkinson J A, Wingen L U, Griffiths M, et al. Phenotyping pipeline reveals major seedling root growth QTL in hexaploid wheat [J]. *Journal of experimental botany*,2015,66:2283-2292.

[31] 李盛有. 嫁接超高产大豆对不同年代育成品种根系和地上部性状的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016. ( Li S Y. Effect of grafting record-yield soybean cultivars on root and shoot traits of cultivars released in different decades [D]. *Shenyang: Shenyang Agriculture University*,2016. )

[32] 刘莹,盖钧镒,吕慧能. 黄淮海地区大豆品种苗期根系性状的遗传变异及耐逆胁迫的关系[J]. *华北农学报*, 2008, 23 (1): 114-118. ( Liu Y, Gai J Y, Lyu H N. Genetic variation of root traits an seedling stage and their relationship with stress tolerances in soybean [J]. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2008, 23 (1): 114-118. )

[33] 巩海仁,张会兴,张艳超,等. 一种防治大豆疫霉根腐病生物种衣剂的应用研究[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24 (11): 54-57. ( Gong H R, Zhang H X, Zhang Y C, et al. Application of biological seed coating agent for soybean *Phytophthora* root rot [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*,2018,24(11):54-57. )

[34] 杨秀红,吴宗璞,张国栋. 大豆品种根系性状与地上部性状的相关分析研究[J]. *作物学报*, 2002, 28 (1): 72-75. ( Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Correlations between characteristics of roots and those of aerial parts of soybean varieties[J]. *Acta Agronomica Sinica*,2002,28(1):72-75. )

[35] 吕彩霞,郭建秋,王英,等. 对大豆耐萎蔫材料 PI471938 根系和地上部的性状鉴定、遗传分析及 QTL 定位[J]. *作物学报*, 2010, 36 (9): 1476-1483. ( Lyu C X, Guo J Q, Wang Y, et al. Identification, inheritance analysis, and QTL mapping of root and shoot traits in soybean variety PI471938 with tolerance to wilting [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2010,36(9):1476-1483. )

[36] Mehetre S S, Shinde R B, Borle U M, et al. Correlation and path analysis studies of partitioning in root and yield characters in soybean (*Glycine max* L. Merrill) [J]. *Crop Research*, 1997, 13: 415-422.

[37] 张含斌,任万军,杨文钰,等. 氮肥处理下套作大豆根系形态建成于产量关系的研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2007 (2): 46-49. ( Zhang H B, Ren W J, Yang W Y, et al. Relationship between root characteristics and yield formation in relay-planting soybean under the nitrogen application[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007 (2): 46-49. )

[38] 蔡春,马铃铃,安明哲,等. 吉林省不同生育期组大豆品种间农艺性状的比较分析[J]. *土壤与作物*, 2008, 7 (4): 449-455. ( Cai C, Ma L L, An M Z, et al. Comparative analysis on the agronomic traits of soybean cultivars in different maturity groups Jilin Province[J]. *Soil and Crops*,2008,7(4):449-455. )