

净套作条件下钼肥拌种对大豆光合特性及产量的影响

陈忠群^{1,2}, 闫艳红³, 杨文钰^{1,2}, 王小春^{1,2}, 雍太文^{1,2}, 刘卫国^{1,2}

(1. 四川农业大学 农学院, 四川 成都 611130; 2. 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130; 3. 四川农业大学 动物科技学院, 四川 成都 611130)

摘要:在净作和“玉/豆”套作条件下,研究钼肥拌种对大豆光合特性及产量的影响。结果表明:净作条件下大豆叶片的叶绿素 Chl(a+b) 含量、单株有效荚数、荚粒数、百粒重及产量均显著低于套作,而 Chl a/b 值、净光合速率和蒸腾速率则高于套作;钼肥拌种提高了大豆叶片 Chl(a+b) 含量、Chl a/b 值、净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、有效荚数和产量。在净作条件下,上述指标均以 2.0 g·kg⁻¹ 处理最高,其次为 1.0 g·kg⁻¹,其中 2.0 g·kg⁻¹ 处理植株叶片的净光合速率、单株有效荚数及产量分别较对照高 36.14%、27.32% 和 37.25%。套作条件下,上述光合指标均以 1.0 g·kg⁻¹ 处理最高,其次为 2.0 g·kg⁻¹,其中 1.0 g·kg⁻¹ 处理植株叶片的净光合速率、单株有效荚数及产量分别较对照高 34.46%、68.00% 和 84.85%。可见,钼肥拌种可提高大豆的光合特性及产量,套作模式中钼肥对大豆产量的贡献大于净作,且套作模式中钼肥的最适拌种浓度低于净作。

关键词:钼肥;大豆;光合特性;产量

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.06.0982

Influence of Seed Treatment with Molybdenum on Soybean Photosynthesis and Yield under Mono-cropping and Relay Strip Intercropping System

CHEN Zhong-qun^{1,2}, YAN Yan-hong³, YANG Wen-yu^{1,2}, WANG Xiao-chun^{1,2}, YONG Tai-wen^{1,2}, LIU Wei-guo^{1,2}
(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China; 3. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: The effect of seed treatment with molybdenum on soybean photosynthesis was studied under mono-cropping and relay strip intercropping system. The results showed that the Chl(a+b) content, pods per plant, seeds per pod, 100-seed weight, and seeds yield of mono-cropping soybean was lower than those of relay strip intercropping soybean. However, the value of Chl a/b, net photosynthetic rate (net photosynthetic rate, *Pn*) and transpiration rate (transpiration rate, *Tr*) of mono-cropping soybean was higher than that of relay strip intercropping soybean. The Chl(a+b) content, the value of Chl a/b, *Pn*, stomatal conductance (stomatal conductance, *Gs*), intercellular CO₂ concentration (intercellular CO₂ concentration, *Ci*), *Tr* pods per plant and yield were increased by molybdenum treatment. The above indexes were the highest with 2.0 g·kg⁻¹ molybdenum treatment, and *Pn*, pods per plant and yield were higher by 36.14%, 27.32% and 37.25% respectively as compared with the control under the mono-cropping system, followed by 1.0 g·kg⁻¹ treatment. Whereas, in the relay strip intercropping system, the above indexes were the highest with 1.0 g·kg⁻¹ molybdenum treated the seeds, and *Pn* pods per plant and yield were higher by 34.46%, 68.00% and 84.85% respectively as compared with the control, followed by 2.0 g·kg⁻¹ treatment. In a word, seed treatment with molybdenum improved the photosynthetic characteristics and yield of soybean, the molybdenum contribution to soybean yield in the relay strip intercropping system was higher than that in the mono-cropping system, and the optimum concentration of molybdenum in the relay strip intercropping system was lower than that in the mono-cropping system.

Keywords: Molybdenum; Soybean; Photosynthetic characteristics; Yield

大豆为喜光作物,其产量高低与光合作用的强弱密切相关。在大豆的总干物质中,光合产物积累量占 90%~95%^[1],且整个生育期对光照的反应都很敏感^[2]。叶绿素是绿色植物中的主要色素,是光合作用中光能转变为化学能并用于物质合成的关键物质,是植物叶绿体中接受光能的主要功能分

子,叶绿素含量高低直接影响植物光合作用的强弱^[3]。虽然钼与植物的叶绿素没有直接的关系,但吴明才等^[4]的研究表明,在植物体内叶绿素的含量与硝酸还原酶的活性及钼的含量呈正相关,缺钼会使植物的光合作用大幅降低。陆景陵^[5]和岳桂华^[6]的研究表明,施钼可使植物光合作用强度提高

收稿日期:2015-04-08
基金项目:国家自然科学基金面上项目(31271668);国家公益性行业(农业)科研项目(201103001);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-PS19)。
第一作者简介:陈忠群(1984-),女,硕士,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:784881892@qq.com。
通讯作者:闫艳红(1981-),女,博士,副教授,主要从事牧草栽培及草产品加工研究。E-mail:yanyanhong3588284@126.com。
杨文钰(1958-),男,博士,教授,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:mssiyangwy@sicau.edu.cn。

10% ~ 40%。Dwivedi 等^[7] 和刘鹏等^[8] 的研究发现,磷钼配施促进大豆开花期和籽粒充实期叶绿素含量提高,硼钼配施能够促进大豆叶面积的扩大,延缓大豆生育后期叶绿素的衰退,提高大豆的光合效率。

在四川丘陵地区钼含量普遍偏低,特别是有效钼含量更低,且大豆多与玉米等高秆作物间套作,由于高秆作物的遮荫作用,减弱了大豆光照强度,使大豆产量有所下降^[9]。但在我国西南地区,钼肥的施用技术尚不明确,尤其在套作大豆中的研究还未见报道。本试验在前人研究的基础上,研究净、套作条件下钼肥拌种对大豆光合特性及产量的影响,以期生产中合理施用钼肥提高大豆产量,保证其良性生长提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种:大豆为贡选 1 号,全生育期 130 ~ 150 d,亚有限结荚型,晚熟,由自贡农科所提供;玉米为川单 418,全生育期 109 d,株型半紧凑,株高 269 cm,由四川农业大学正红种业提供。

供试钼肥:钼酸铵(分析纯,钼含量为 54.3%,纯度 99.99%,上海化学试剂二厂生产)。

供试土壤肥力情况:有机质 8.96 g·kg⁻¹、全氮 1.21 g·kg⁻¹、全磷 0.61 g·kg⁻¹、全钾 11.44 g·kg⁻¹、速效氮 62.35 mg·kg⁻¹、速效磷 24.34 mg·kg⁻¹、速效钾 65.72 mg·kg⁻¹,有效钼 0.118 mg·kg⁻¹(低等水平),pH6.55。

1.2 试验设计

试验于 2010 年 6 ~ 11 月在四川农业大学教学农场进行。采用裂区设计,主因素为不同种植模式,设 2 个水平,分别为 A1:净作,A2:套作;副因素为钼酸铵拌种用量(按药剂有效成分含量与种子的重量比设置拌种剂量),设 5 个水平,分别为 B0(CK,不拌种),B1(0.5 g·kg⁻¹),B2(1.0 g·kg⁻¹),B3(2.0 g·kg⁻¹),B4(4.0 g·kg⁻¹),共 10 个处理,重复 3 次。小区面积为 2 m×6 m,2 m 开厢,套作模式中玉米和大豆各占 1 m。玉米于 2011 年 4 月 9 日播种,8 月 15 日收获,每厢播 2 行,行距 50 cm,穴距 40 cm,每穴留 2 苗,密度为 5.0×10⁴株·hm⁻²;玉米底肥施纯氮 75 kg·hm⁻²,KCl 22.5 kg·hm⁻²,P₂O₅ 22.5 kg·hm⁻²;苗肥施纯 N 69 kg·hm⁻²,兑粪水 36 000 L,大喇叭口期追施纯 N 135 kg·hm⁻²,兑粪水 36 000 L。大豆于玉米吐丝期(6 月 5 日)播种,10 月 25 日收获,行距 33 cm,穴距 30 cm,每穴留 2 苗;大豆三节期时施纯 N 60 kg·hm⁻²,P₂O₅ 76.5

kg·hm⁻²,K₂O 33 kg·hm⁻²。大豆播种时大豆行的透光率(通过玉米冠层)为 85%;当大豆处于 V5 期时,大豆行的透光率为 69%;当大豆处于 R1 期时,大豆行的透光率为 75%,此时正是玉米收获期。田间管理按常规高产栽培进行。

1.3 种子处理及测定方法

1.3.1 钼肥拌种方法 称取试验所需钼酸铵量,先用适量温热水将钼酸铵溶解,再加凉水稀释,配成钼酸铵溶液。然后将种子摊平,将钼酸铵溶液均匀地喷洒在种子上,边喷边搅拌,使肥液全面附着于种皮上。应注意肥液用量不宜过多,以免种子起褶皱降低种子质量,影响种子发芽率。拌种后的种子一定要阴干,不要晒种。拌种时不要用铁器,以防钼发生沉淀而失效。0.05 kg 肥液拌 1 kg 大豆种子,肥液可用搪瓷或釉陶瓷器皿配制。

1.3.2 叶绿素含量的测定 分别于大豆五节期 V5、盛花期 R2、盛荚期 R4 期,各小区随机采取 5 株上、中、下部叶片,除去叶脉剪成细丝,称取 0.2 g,用丙酮和乙醇(1:1)混合液黑暗下浸提 24 h 后,在紫外分光光度计上测定 663 nm 和 645 nm 波长下的光密度(OD)值,计算出溶液中 Chla、Chlb 和 Chl(a+b)的值^[10]。

1.3.3 叶片光合特性的测定 于大豆盛花期 R2,以大豆倒 3 叶为样本,用 Li-6400 型便携式光合作用测定系统(美国产),使用开放式气路,在晴朗少云的上午 10:00 ~ 12:00 测定光合参数。每小区选 5 片生长一致且受光方向相近的功能叶(倒 3 叶)测定中上部表面净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)及蒸腾速率(Tr),重复 3 次。

1.3.4 产量及产量构成因素的测定 于大豆完熟期 R8,各小区随机取 9 株(套作大豆每行取 3 株)测定有效荚数、荚粒数和百粒重,计算大豆产量。

数据采用 Excel 2003 和 DPS V6.55 版进行汇总与统计分析。

2 结果与分析

2.1 钼肥拌种对 Chl(a+b)含量及 Chl a/b 值的影响

2.1.1 钼肥拌种对 Chl(a+b)含量的影响 由表 1 可见,不同的种植模式(A)、钼肥浓度(B)及二者的互作效应对 V5、R2 和 R4 期的叶绿素含量均有极显著影响(除 R4 期 A 因素外)。A2 模式下,V5 和 R2 期的叶绿素含量极显著高于 A1 模式,R4 期的叶绿素含量显著高于 A1 模式,V5、R2 和 R4 期的叶绿素含量分别较 A1 高 4.60%、2.72% 和 2.49%。A1 模式下,钼肥拌种均极显著提高了各期的叶绿素含量

(除 V5 期 B1 处理为显著外),各处理间的顺序为 B3 > B2 > B1 > B4 > B0; R4 期时, B3、B2、B1 和 B4 的 Chl (a + b) 含量分别较 B0 高 6.75%、6.49%、4.68% 和 3.12%。A2 模式下, 钼肥拌种均极显著提高了 R2 和 R4 期的 Chl (a + b) 含量,各处理间的顺序为 B2 > B3 > B4 > B1 > B0; R4 期时, B2、B3、B4 和 B1 的 Chl (a + b) 含量分别较 B0 高 9.21%、6.65%、6.39% 和 2.81%。同一处理下 R2 和 R4 期的 Chl (a + b) 含量差异不大,均显著高于 V5 期。

表 1 不同种植模式下钼肥对 Chl (a + b) 含量的影响
Table 1 Effect of molybdenum on the Chl (a + b) content of soybean under different cropping systems

因素 Factors		生长时期 Growth stage		
主区 Primary	副区 Secondary	V5	R2	R4
A1	B0	3.53 dD	3.85 eE	3.85 dC
	B1	3.60 cCD	4.04 cC	4.03 bcAB
	B2	3.81 bB	4.09 bB	4.10 abA
	B3	3.95 aA	4.21 aA	4.11 aA
	B4	3.61 cC	3.99 dD	3.97 cB
	平均值 Mean	3.70 bB	4.04 bB	4.01 bA
A2	B0	3.69 cA	3.99 dD	3.91 dC
	B1	3.74 bcA	4.08 cC	4.02 cB
	B2	4.03 aA	4.36 aA	4.27 aA
	B3	4.01 abA	4.19 bB	4.17 bA
	B4	3.88 abcA	4.11 cC	4.16 bA
	平均值 Mean	3.87 aA	4.15 aA	4.11 aA
P 值 P value				
A		0.0003	0.0040	0.0468
B		0.0001	0.0001	0.0001
A × B		0.0005	0.0001	0.0007

同列数据后的不同大写字母和小写字母分别表示在相同种植模式下不同钼肥处理间在 $P = 0.01$ 和 $P = 0.05$ 水平上差异显著。下同。

Within the same columns, stages and cropping systems, means followed by the different capital and small letters are significantly different at the $P = 0.01$ and $P = 0.05$ levels of probability, respectively. The same bellow.

2.1.2 钼肥拌种对 Chl a/b 值的影响 由表 2 可见,不同的种植模式(A)对 R2 和 R4 期的 Chl a/b 值影响显著;钼肥浓度(B)对 V5 和 R2 期的 Chl a/b 值影响极显著,对 R4 期的 Chl a/b 值影响显著;A 与 B 的互作效应对 Chl a/b 值影响不显著。钼肥处理增加了不同种植模式下大豆植株的 Chl a/b 值,

且 Chl a/b 值均随钼肥浓度的增加呈先增加后降低的趋势,A1 模式下以 B3 处理最高,A2 模式下以 B2 处理最高。A1 模式下 R2 和 R4 期的 Chl a/b 值分别较 A2 高 2.06% 和 2.91%,差异显著。A1 模式下,当大豆植株处于 V5 期时,B3、B2 处理的 Chl a/b 值显著高于 B0,分别较 B0 高 8.90% 和 7.12%;当大豆植株处于 R2 期时,钼肥处理均显著提高了植株叶片的 Chl a/b 值,各处理间的顺序为 B3 > B2 > B1 > B4 > B0;当大豆植株处于 R4 期时,钼肥处理均提高了植株叶片的 Chl a/b 值,但只有 B3 处理与 B0 显著差异,且较 B0 高 7.29%。A2 模式下,当大豆植株处于 V5 期时,B2 处理的 Chl a/b 值显著高于 B0,较 B0 高 8.55%;当大豆植株处于 R2 期时,经钼肥处理植株的 Chl a/b 值均显著高于 B0,各处理间的顺序为 B2 > B1 > B3 > B4 > B0;当大豆植株处于 R4 期时,经钼肥处理植株的 Chl a/b 值与 B0 均无显著性差异。

表 2 不同种植模式下钼肥对 Chl a/b 值的影响
Table 2 Effect of molybdenum on the Chl a/b value of soybean under different cropping systems

因素 Factors		生长时期 Growth stage		
主区 Primary	副区 Secondary	V5	R2	R4
A1	B0	2.81 b	2.76 b	2.72 b
	B1	2.77 b	2.94 a	2.82 ab
	B2	3.01 a	3.01 a	2.86 ab
	B3	3.06 a	3.07 a	2.92 a
	B4	2.85 ab	2.94 a	2.86 ab
	平均值 Mean	2.90 a	2.94 a	2.83 a
A2	B0	2.69 b	2.729 b	2.67 a
	B1	2.78 ab	2.929 a	2.77 a
	B2	2.92 a	3.009 a	2.85 a
	B3	2.84 ab	2.886 a	2.77 a
	B4	2.77 ab	2.860 a	2.71 a
	平均值 Mean	2.80 a	2.883 b	2.75 b
P 值 P value				
A		0.0608	0.0199	0.0331
B		0.0038	0.0001	0.0258
A × B		0.4596	0.2096	0.8768

2.2 钼肥拌种对大豆叶片光合特性的影响
2.2.1 净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s) 由表 3 可见,不同的种植模式(A)、钼肥浓度(B)及二者的互作效应对 P_n 、 Tr 和 G_s 影响极显

著。A1 模式下大豆叶片的 Pn 、 Tr 和 G_s 分别较 A2 高 12.73%、13.02% 和 5.26% ,差异极显著;钼肥拌种显著提高了大豆叶片的 Pn 、 Tr 和 G_s 。A1 模式下,各处理间 Pn 、 Tr 和 G_s 的顺序均为 $B3 > B2 > B1 > B4 > B0$, $B3$ 、 $B2$ 、 $B1$ 和 $B4$ 处理的 Pn 分别较 $B0$ 高 36.14%、34.60%、26.95% 和 16.98% , Tr 分别较 $B0$ 高 33.27%、30.65%、15.97% 和 7.05% ; G_s 分别较 $B0$ 高 77.78%、66.67%、59.26% 和 25.93%。A2 模式下,大豆叶片的 Pn 、 Tr 及 G_s 随钼肥拌种浓度的增加呈先升高后降低的趋势,均以 $B2$ 处理最大,其次为 $B3$ 处理, $B2$ 处理的 Pn 、 Tr 及 G_s 分别较 $B0$ 高

34.46%、33.27% 和 74.04%。2.2.2 胞间 CO_2 浓度(C_i) 由表 3 可见,不同的种植模式(A)和钼肥浓度(B)对 C_i 影响极显著;A2 模式下的 C_i 极显著高于 A1。A1 模式下,各处理间 C_i 的顺序为 $B3 > B2 > B1 > B4 > B0$,其中 $B3$ 和 $B2$ 处理的 C_i 与 $B0$ 差异极显著, $B1$ 处理的 C_i 与 $B0$ 差异显著, $B3$ 、 $B2$ 和 $B1$ 处理分别较 $B0$ 高 6.90%、5.36% 和 3.17% ;A2 模式下,各处理间 C_i 的顺序为 $B2 > B1 > B3 > B4 > B0$,其中 $B2$ 、 $B1$ 和 $B3$ 处理的 C_i 与 $B0$ 差异极显著,分别较 $B0$ 高 4.48%、4.27% 和 3.33%。

表 3 不同种植模式下钼肥对大豆光合特性的影响
Table 3 Effects of molybdenum on the photosynthesis of soybean under different cropping systems

因素 Factors		净光合速率 Pn	蒸腾速率 Tr	胞间二氧化碳浓度 C_i	气孔导度 G_s
主区 Primary	副区 Secondary	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
A1	B0	14.25 dD	6.95 eE	236.95 dB	0.27 dD
	B1	18.09 bB	8.06 cC	244.46 bcAB	0.43 bB
	B2	19.18 aA	9.08 bB	249.64 abA	0.45 bB
	B3	19.40 aA	9.26 aA	253.31 aA	0.48 aA
	B4	16.67 cC	7.44 dD	240.15 cdB	0.34 cC
	平均值 Mean	17.52 aA	8.16 aA	244.90 bB	0.40 aA
A2	B0	12.68 dD	6.16 eE	254.71 cB	0.27 eE
	B1	15.81 bB	7.24 cC	265.58 aA	0.39 cC
	B2	17.05 aA	8.05 aA	266.12 aA	0.47 aA
	B3	16.89 aA	7.80 bB	263.19 abA	0.44 bB
	B4	13.99 cC	6.84 dD	257.09 bcAB	0.33 dD
	平均值 Mean	15.29 bB	7.22 bB	261.34 aA	0.38 bB
P 值 P value					
A		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
B		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
$A\times B$		0.0006	0.0001	0.1532	0.0001

2.3 产量及产量构成因素

由表 4 可见,种植模式(A)对大豆单株有效荚数影响显著,对大豆产量影响极显著;钼肥浓度(B)及二者的互作效应只对大豆产量影响显著;A2 模式下的有效荚数及产量极显著高于 A1。A1 模式下,钼肥拌种各处理间大小关系为: $B3 > B2 > B1 > B4 > B0$, $B3$ 和 $B2$ 的单株有效荚数分别较对照提高了 27.32% 和 20.82% ,差异显著;产量分别较对照提高了 37.25% 和 36.03% ,差异极显著。A2 模式下,随钼肥拌种浓度的增加单株有效荚数和产量呈先增加后降低的趋势,以 $B2$ 处理最高,其次为 $B3$ 处理,产量分别较对照高 84.85% 和 73.96% ,差异极

显著。种植模式(A)对大豆的荚粒数影响极显著,而钼肥浓度及其与种植模式的互作效应对大豆的荚粒数和百粒重均无显著影响(表 4)。A2 模式下的荚粒数和百粒重均显著高于 A1。A1 模式下,钼肥拌种显著提高了大豆植株的荚粒数,且以 $B3$ 处理最高,较对照高 11.76% ;钼肥处理对百粒重无显著影响。A2 模式下, $B2$ 、 $B3$ 处理植株的荚粒数显著高于对照,均较对照高 4.44% ;百粒重则以 $B4$ 处理最高,其次为 $B1$ 处理,分别较对照高 7.97% 和 3.56% ,差异达显著水平。

表 4 不同种植模式下钼肥对大豆产量及产量构成因素的影响
Table 4 Effects of molybdenum on soybean yield and its components under different cropping systems

因素 Factors		有效荚数	荚粒数	百粒重	单株产量
主区 Primary	副区 Secondary	Pod number per plant	Seed number	100-seed weight /g	Yield per plant/g
A1	B0	44.33 cdCD	1.19 dC	21.79 abcAB	11.49 fE
	B1	48.33 cdBCD	1.30 bcABC	22.44 abcAB	14.10 eDE
	B2	53.56 abABC	1.32 bcABC	22.11 abcAB	15.63 dD
	B3	56.44 aABC	1.33 bcABC	21.01 cB	15.77 dD
	B4	45.56 cdBCD	1.28 cBC	22.57 abAB	13.16 eFE
	平均值 Mean	49.64 bB	1.28 bA	21.98 bA	14.03 bB
A2	B0	39.22 dD	1.35 bAB	21.33 bcAB	11.29 fE
	B1	61.11 abAB	1.38 abAB	22.90 aA	18.63 bcBC
	B2	65.89 aA	1.41 aA	22.46 abcAB	20.87 aA
	B3	61.89 abAB	1.41 aA	22.51 abcAB	19.64 abA
	B4	58.11 abcABC	1.38 abAB	23.03 aA	17.74 cBC
	平均值 Mean	57.24 aA	1.39 aA	22.45 aA	17.63 aA
P 值 P value					
A		0.0321	0.0001	0.0761	0.0001
B		0.0651	0.1328	0.1761	0.0301
A × B		0.0806	0.0581	0.1532	0.0451

3 结论与讨论

叶片光合作用是籽粒形成的物质基础,而叶绿素含量高低直接影响植物光合作用的强弱^[11]。较多研究表明,遮荫情况下,植物叶绿素含量和叶面积指数增加,以捕获更多的光能^[12-13]。本研究表明,套作大豆的叶绿素含量高于净作,而 Chl a/b 则低于净作。这是由于叶绿素 b 能有效利用漫射光中较多的蓝紫光,因此在玉米与大豆共生期,大豆所受的光照不足,叶片中的叶绿素 b 含量增加^[14]以吸收更多的光能,从而导致 Chl a/b 降低,与王竹等^[2]的研究结果相似。同时,在套作条件下大豆受玉米的荫蔽作用,所受的光照强度低于净作,导致其净光合速率和蒸腾速率极显著低于净作。但我们研究发现,套作条件下大豆的有效荚数和产量极显著高于净作。这可能是由于在净作条件下,大豆生育前期光照充足,为植株生长提供了有利条件,且试验当年(花期)雨水过多,造成大豆植株营养生长过旺,落花落荚严重,进而导致产量下降。

施用钼肥能有效提高叶绿素含量、增加光合利用率,增加植株干物质含量,最终提高大豆的产量、改善品质^[15]。本试验结果与上述相同,施钼显著提高了净套作条件下大豆叶片的叶绿素含量和光合速率,同时还提高了气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾

速率等光合生理指标,进而提高了大豆产量。这可能与施用钼肥提高大豆的生物固氮能力有关。本研究还发现,净套作模式中钼肥拌种最适浓度不同,叶绿素含量、净光合速率等套作条件下最适钼肥浓度为 B2(1.0 g·kg⁻¹)处理,净作条件下最适宜钼肥浓度为 B3(2.0 g·kg⁻¹)处理,净作高于套作,这可能与曾希柏等^[16]所提出的“光肥平衡”有关。研究发现,在一定的光强范围内,作物的光合速率和生长发育随光照强度的增强而增强,因而对养分的需要量亦随之增加、吸收能力增强。光照强度的改变,将在很大程度上决定作物的肥料需要量、需肥比例和相应所采取的施肥措施。但关于光照变化与作物施肥等相互关系的研究还没有引起足够重视,许多方面甚至还是空白,有待进一步的研究。

参考文献

[1] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56. (Dong Z. Soybean yield physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 56.)

[2] 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. Effect 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.)

(下转第 992 页)

ences,2001,23(3):23-25.

[9] 董守坤,赵坤,刘丽君,等. 干旱胁迫对春大豆叶绿素含量和根系活力的影响[J]. 大豆科学,2011,30(6):949-952. (Dong S K,Zhao K,Liu L J,et al. Effect of drought stress on chlorophyll content and root activity of spring soybean[J]. Soybean Science, 2011,30(6):945-952.)

[10] Frederick J R, Camp C R, Bauer P J. Drought-stress effects on branch and main stem seed yield and yield components of determinate soybean[J]. Crop Science,2001,41:759-763.

[11] 孙继颖,高聚林,薛春雷,等. 不同品种大豆抗旱性能比较研究[J]. 华北农学报,2007,22(6):91-97. (Sun J Y,Gao J L, Xue C L,et al. Comparative experiment on drought resistant characters of different soybean varieties[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2007,22(6):91-97.)

[12] 郭卫东,沈向,李嘉瑞,等. 植物抗旱分子机理[J]. 西北农业大学学报,1999,27(4):102-106. (Guo W D,Shen X,Li J R,et al. The research situation about effects of nitrogen on certain physiological and biochemical process in plants[J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis,1999,27(4):102-106.)

(上接第986页)

[3] 闫艳红,杨文钰,张新全,等. 施氮量对套作大豆花后光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 草业学报,2011,20(3):233-238. (Yan Y H, Yang W Y, Zhang X Q, et al. Effects of different nitrogen levels on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and yield of relay strip intercropping *Glycine max* after blooming [J]. Acta Prataculture Sinica, 2011, 20(3): 233-238.)

[4] 吴明才,肖昌珍. 大豆钼素研究[J]. 大豆科学,1994,13(3):245-251. (Wu M C, Xiao M Z. The study of soybean molybdenum[J]. Soybean Science, 1994, 13(3): 245-251.)

[5] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,1994:13-76. (Lu J L. Plant nutrition(I) [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 1994: 13-76.)

[6] 岳桂华. 钼磷酸钾拌种对大豆苗期生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(2):179-180. (Yue G H. Effects of seed dressing with potassium phosphomolybdate on soybean growth at seedling stage[J]. Journal of Agricultural University, 2000, 31(2): 179-180.)

[7] Dwivedi S K, Meer S, Nigam P K, et al. Effect of phosphorus and molybdenum application on leaf chlorophyll content in soybean [J]. Advances in Plant Sciences, 1997, 10(1): 145-149.

[8] 刘鹏,杨玉爱. 钼、硼对大豆光合效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):456-461. (Liu P, Yang Y A. Effect of molybdenum and boron on photosynthetic efficiency of soybean [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 456-461.)

[9] 陈忠群. 钼肥对净套作大豆固氮特性、光合生理及产量品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2011. (Chen Z Q. Influence of seed treatment with molybdenum on soybean nitrogen fixation characteristics, photosynthetic physiology, yield and quality under mono-cropping and relay strip intercropping system[D]. Ya'an: Sichuan Agriculture University, 2011.)

[13] 寿惠霞,朱丹华,陈彩霞,等. 8个春大豆品种对旱境的反应及抗旱指标初探[J]. 浙江农业科学,1991(6):278-281. (Shou H X,Zhu D H,Chen C X,et al. Response of eight spring soybean va-rieties to drought condition and screening of drought-resistant indexes[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 1991(6): 278-281.)

[14] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992:117-205. (Zhang X Z. Research Methods of Crop Physiology [M]. Beijing:China Agriculctue Press, agricultural publishing house, 1992:117-205)

[15] Voldeng H D, Cober E R, Hume D J, et al. Fifty-eight years of genetic improvement of short- season soybean cultivars in Canada [J]. Crop Science, 1997, 37:428-431

[16] 胡国玉,李杰坤,黄志平,等. 不同结荚习性夏大豆种质的农艺表现及其与产量的相关分析[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(2):417-422. (Hu G Y, Li J K, Huang Z P, et al. Agronomic characters and their correlations with yield in summer soybean varieties of different growth habit[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(2): 417-422.)

[10] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003:36-94. (Xiong Q E. Plant Physiological Experiment [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 2003: 36-94.)

[11] Tekalign T, Hammes P S. Response of potato grown under non-inductive condition to paclobutrazol: Shoot growth, chlorophyll content, net photosynthesis, assimilate partitioning, tuber yield, quality, and dormancy[J]. Plant Growth Regulation, 2004, 43(3):227-236.

[12] Rosati A, Badeck F W, Dejong T M. Estimating canopy light interception and absorption using leaf mass per unil leaf area in *Solanum melongena*[J]. Annals of Botany, 2001, 88(1):101-109.

[13] 刘景辉,曾昭海,焦立新,等. 不同青贮玉米品种与紫花苜蓿的间作效应[J]. 作物学报,2006,32(1):125-130. (Liu J H, Zeng Z H, Jiao L X, et al. Intercropping of different silage maize cultivars and alfalfa[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(1): 125-130.)

[14] Pearcy R W, Seemann J R. Photosynthetic induction state of leaves in a soybean canopy in relation to light regulation of ribulose-1-5 biphosphate carboxylase and stomatal conductance[J]. Plant Physiology, 1990, 94(2):628-633.

[15] 徐根娣,刘鹏,任玲玲. 钼在植物体内生理功能的研究综述[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2001,24(3):292-297. (Xu G D, Liu P, Ren L L. A summing up of the biological action of molybdenum in plants [J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2001,24(3):292-297.)

[16] 曾希柏,侯光炯,青长乐,等. 土壤-植物系统中光照与氮素的相互关系研究[J]. 生态学报,2000,1(20):103-108. (Zeng X B, Hou G J, Qing C L, et al. Interrelation of light and nitrogen in soil-plant system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 1(20): 103-108.)