

生物炭与氮肥施用量对大豆生长发育及产量的影响

刘明^{1,2}, 来永才¹, 李炜¹, 肖佳雷¹, 毕影东^{1,2}, 刘淼^{1,2}, 李琬^{1,2}

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:通过大田圆柱管栽培试验, 研究生物炭与氮肥的交互作用对大豆生长发育及产量的影响。结果表明: 适量施入生物炭对单株干物质积累与 LAI 的调控起到了促进作用, 其调控作用在生育后期大于生育前期。在 R6 期 C1 (施炭 750 kg · hm⁻²) 处理单株干物重与 LAI 最高, 但随着施炭量的进一步增加单株干物重与 LAI 却逐渐下降, 施炭量为 C3 (施炭 2 250 kg · hm⁻²) 时单株干物重与 LAI 低于不施炭处理。施入生物炭使大豆株高降低, 施炭量越多株高降低幅度越大。在相同施炭量条件下, 不同施氮处理各生育时期单株干物重及叶面积指数的均值以 N2 (施氮 60 kg · hm⁻²) 最高, 叶绿素的均值以 N3 (施氮 90 kg · hm⁻²) 最高。施炭 750 kg · hm⁻² 和施氮 42 kg · hm⁻² 为大豆高产的最优施用组合, 理论产量为 3 546.9 kg · hm⁻²。生物炭与氮肥配合施用, 主要是通过调节单株粒数来影响产量。

关键词: 生物炭; 氮素; 大豆; 生长发育; 产量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2015.01.0087

Effect of Biochar and Nitrogen Application Rate on Growth Development and Yield of Soybean

LIU Ming^{1,2}, LAI Yong-cai¹, LI Wei¹, XIAO Jia-lei¹, BI Ying-dong^{1,2}, LIU Miao^{1,2}, LI Wan^{1,2}

(1. Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Postdoctoral Research Station, Harbin 150086, China)

Abstract: Cylindrical tube cultivation trial was adopted in field to study the effects of interaction of biochar and nitrogen fertilizer on growth development and yield of spring soybean. It showed that appropriate biochar application helped in single plant dry matter accumulation and LAI. The regulation function role was important in late growth period than in earlier growth period. The dry matter accumulation and LAI of C1 was the highest at R6 stage, while they were decreased with the increment amount of biochar and lower than no biochar treatment in C3. The plant height was decreased by applying biochar treatment, and was decreased mostly with the increase of amount of biochar applied. In different periods, the average value of dry matter accumulation and LAI were the highest in N2 (N 60 kg · ha⁻¹) treatment, and the average value of SPAD was the highest in N3 (N 90 kg · ha⁻¹) treatment. Applied biochar 750 kg · ha⁻¹ and nitrogen fertilizer 42 kg · ha⁻¹ was the optimal a combination for soybean high-yield. The theoretical yield could reach 3 546.9 kg · ha⁻¹ in this test. Biochar combined with nitrogen fertilizer apply mainly through adjusting seeds per plant to affect soybean yield.

Keywords: Biochar; Nitrogen; Soybean; Growth and development; Yield

生物炭是作物秸秆等有机物质在无氧或低氧条件下, 高温热裂解后碳化的产物, 具有改善土壤质量、保持土壤肥力等诸多作用^[1-5], 养分含量较低。但是, 如果生物炭与肥料混合施用, 肥料中的营养可弥补生物炭中养分不足的缺陷^[6]。同时, 由于生物炭富含微孔, 具有强烈的吸附作用^[7], 使肥料的释放淋溶速度明显放缓, 满足了作物全生育期对养分的需求, 从而提高了肥料的利用效率。

目前, 国内外有关生物炭在作物上的应用已有大量研究, Hossain 等^[8]指出, 生物炭对作物的积极影响主要是生物炭对土壤的有效改善。Yazawa^[9]研究表明, 向土壤中施加生物炭可以减少土壤养分的淋洗; 刘玮晶等^[10]研究表明, 生物炭能够提高土

壤对铵态氮素的吸附能力, 显著降低土壤铵态氮素养分的淋失。David 等^[11]研究发现, 土壤中施用生物炭的质量分数为 20 g · kg⁻¹ 时, 土壤氮淋失量减少了 11%; 郭伟等^[12]通过 3 年华北高产农田定位试验发现, 0 ~ 15 cm 耕层土壤中的全氮储量在生物炭施用 3 年后均有大幅提升。

但是, 关于生物炭与氮素互作效应及其二者间量-效关系的研究较少, 同时有关生物炭对大豆生长发育以及产量形成的研究也缺乏系统的、深入的报道。因此, 本研究旨在探讨生物炭对大豆生长发育和产量形成的调控机制, 明确生物炭与肥料之间的量-效关系, 为提高黑龙江省大豆产量及肥料利用效率提供理论依据。

收稿日期: 2014-04-15

基金项目: 哈尔滨市青年科技创新人才研究专项(2013RFQYJ153); 黑龙江省农业创新工程农科院院级青年基金项目(2012QN037)。

第一作者简介: 刘明(1982-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail: liuming666@126.com。

通讯作者: 来永才(1964-), 男, 博士, 研究员, 主要从事作物遗传育种与耕作栽培研究。E-mail: yame0451@163.com。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验种植材料为大豆品种合丰 55, 施入的生物炭颗粒由辽宁金和福农业开发有限公司生产提供, 生物炭颗粒制备原材料为玉米秸秆, 生物炭粒径 1.5 ~ 2.0 mm, pH9.23。施入的氮肥为尿素(含氮量为 46.2%), 磷肥为过磷酸钙(含磷量为 16%), 钾肥为硫酸钾(含钾量为 50%)。磷肥(P_2O_5)与钾肥(K_2O)各处理施入量分别为 75 和 45 $kg \cdot hm^{-2}$ 。

1.2 试验设计

试验于 2013 年在黑龙江省现代农业示范区进行(E126°50', N45°50', 海拔 137 m), 气候为温带大陆性季风气候, 年均气温 3.6°C, 无霜期 135 d, $\geq 10^\circ C$ 积温 2 757.8°C, 年均降水量 524 mm。试验地土壤类型为黑土, 前茬作物为玉米, 0 ~ 20 cm 土壤含有机质 35.8 $g \cdot kg^{-1}$; 速效氮(N) 122.2 $mg \cdot kg^{-1}$; 速效磷(P_2O_5) 56.5 $mg \cdot kg^{-1}$; 速效钾(K_2O) 247.5 $mg \cdot kg^{-1}$; 全氮 0.16%; pH7.17。

为了能够较准确地控制土壤肥力又能接近田间条件, 采用大田管栽方法。管栽材料为 PVC 无底圆柱管, 圆柱管直径 15 cm, 长度 42 cm, 春季在垄上将 PVC 管埋入土壤中, 埋入深度为 40 cm, 露出地表 2 cm, 相邻圆柱管间距为 2 cm。每个处理 30 个圆柱管。管栽试验四周设保护行。播种前依次将风干土壤(填土厚度为 30 cm)、土壤与生物炭混合物(填土厚度为 3.5 cm)和土壤与肥料混合物(填土厚度为 3.5 cm)填入到圆柱管中(填土后整个土柱高度为 37 cm), 填土时适当压实使各层土壤容重保持在 1.2 $g \cdot cm^{-3}$, 然后浇水使土壤中水分饱和且尚未溢出, 培养 3 d 后每个圆柱管播 5 粒种子并覆土 3 cm, 出苗后每个圆柱管定苗 3 株, 5 月 1 日播种, 9 月 25 日收获, 生长期内遇圆柱管内土壤干旱时浇水。

本试验为二因素四水平裂区试验设计, 主因素为施炭量, 4 个水平为 0, 750, 1500, 2 250 $kg \cdot hm^{-2}$; 副因素为施氮量, 4 个水平为纯氮 0, 30, 60 和 90 $kg \cdot hm^{-2}$, 各处理生物炭与氮肥施用量如表 1 所示。

表 1 各处理生物炭与氮肥施用量

Table 1 Biochar and nitrogen application amounts in each treatment

处理 Treatment	施炭量 Biochar application amount/ $kg \cdot hm^{-2}$	施氮量 Nitrogen application amount/ $kg \cdot hm^{-2}$	处理 Treatment	施炭量 Biochar application amount/ $kg \cdot hm^{-2}$	施氮量 Nitrogen application amount/ $kg \cdot hm^{-2}$
C0N0	0	0	C2N0	1500	0
C0N1	0	30	C2N1	1500	30
C0N2	0	60	C2N2	1500	60
C0N3	0	90	C2N3	1500	90
C1N0	750	0	C3N0	2250	0
C1N1	750	30	C3N1	2250	30
C1N2	750	60	C3N2	2250	60
C1N3	750	90	C3N3	2250	90

1.3 测定项目与方法

生长发育特性: 分别在 R1、R2、R4、R6 期取植株的地上部分, 并将植株器官按茎、叶、叶柄、荚分开, 分别装入样品袋中于烘箱内 105°C 杀青 30 min, 再在 75°C 烘至恒重, 冷却至室温后用 1/1000 天平分别称量, 并记录数据。叶面积采用比叶重法测定; 叶绿素含量(叶色值)采用叶绿素仪法测定; 株高采用米尺法测定。

产量性状: 成熟期调查单位面积株数、株高、底荚高度等指标, 并在室内调查有效分枝数、主茎节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重等性状。

2 结果与分析

2.1 生物炭与氮肥施用比例对大豆干物质积累的影响

由图 1 可见, 不同生育时期各施炭处理间单株干物重存在差异, 表现为生育前期, 施炭处理单株干物重低于不施炭处理, 在 R1 期和 R2 期, C1、C2、C3 处理单株干物重均值分别较 C0 低 38.2%、35.4%、53.9% 和 10.8%、11.1%、39.1%; 随着生育期的推进施炭处理单株干物重逐渐高于不施炭处理, 在 R4 期 C1 处理单株干物重均值较 C0 高 2.9%, 但 C2 与 C3 处理较 C0 低 2.4% 和 41.2%; 在 R6 期 C1 与 C2 处理单株干物重均值分别较 C0 高 5.3% 和 1.6%,

但 C3 处理较 C0 低 30.2%。不同生育时期各施氮处理间单株干物重存在差异,表现为随着施氮量的

增加单株干物重均值呈现先增加后降低的趋势。在施氮量为 N2 时单株干物重均值最高。

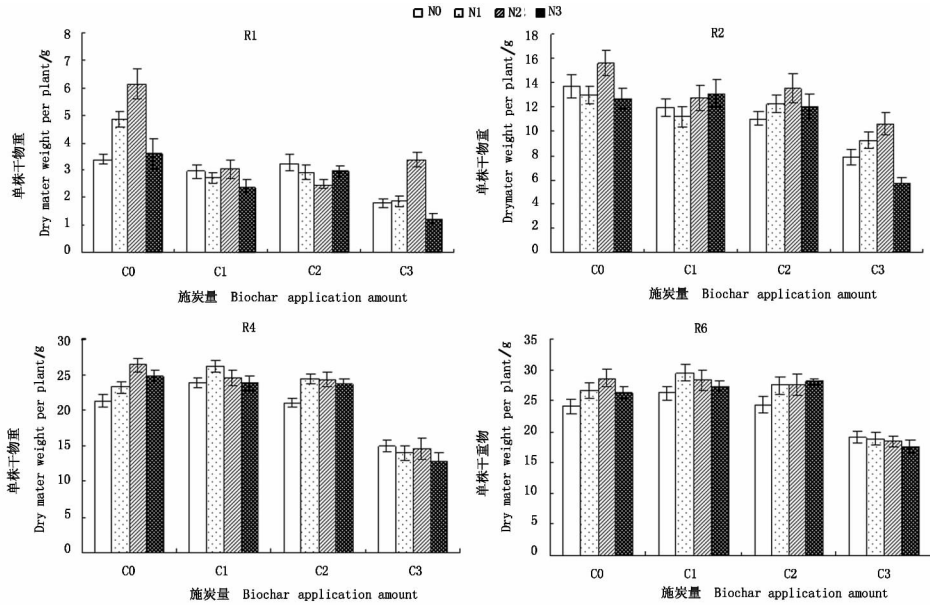


图 1 生物炭与氮肥施用比例对大豆不同生育时期单株干物质积累的影响

Fig. 1 Effect of biochar and nitrogen fertilizer application amounts on dry matter accumulation at different growth stages

2.2 生物炭与氮肥施用比例对大豆叶面积指数及叶绿素含量的影响

由图 2 可知,在 R1、R2 和 R4 期施炭处理 C1、C2 和 C3 的 LAI 均值小于不施炭处理 C0;随着生育期的推进施炭处理 LAI 逐渐变大,在 R6 期 C1 与 C2 处理 LAI 均值分别较 C0 高 7.34% 和 4.87%,但 C3 处理 LAI

均值仍小于 C0。各生育时期中 LAI 以 R6 期最大,各施炭量与施氮量的配比中,以施炭量为 C1 和施氮量为 N2 时 LAI 最大。不同生育时期各施氮处理间叶面积指数存在差异,表现为随着施氮量的增加叶面积指数均值呈现先增加后降低的趋势。在施氮量为 N2 时叶面积指数均值最高。

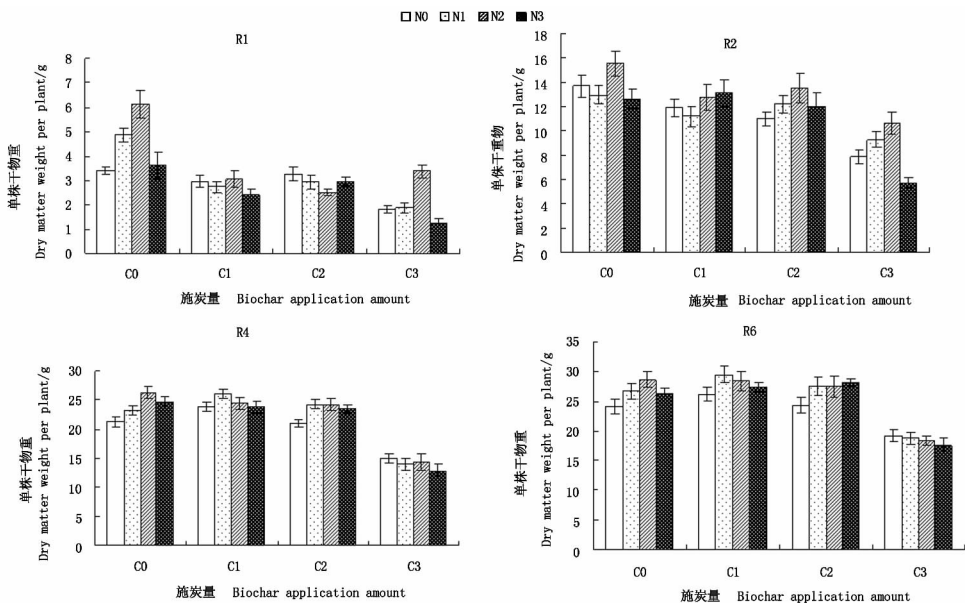


图 2 生物炭与氮肥施用比例对大豆不同生育时期 LAI 的影响

Fig. 2 Effect of biochar and nitrogen fertilizer application amounts on LAI at different growth stages

由图 3 可见,整个生育期叶绿素含量呈先升高后下降的趋势,各生育时期中以 R4 期叶绿素含量最高;在 C0 条件下,叶绿素含量在高氮处理 N3 时出现下降

趋势,而在 C1、C2 和 C3 条件下,叶绿素含量随施氮量的增加而增加,当施氮量为 N3 时未出现下降的趋势。各施炭水平叶绿素含量的均值以 C2 最高。

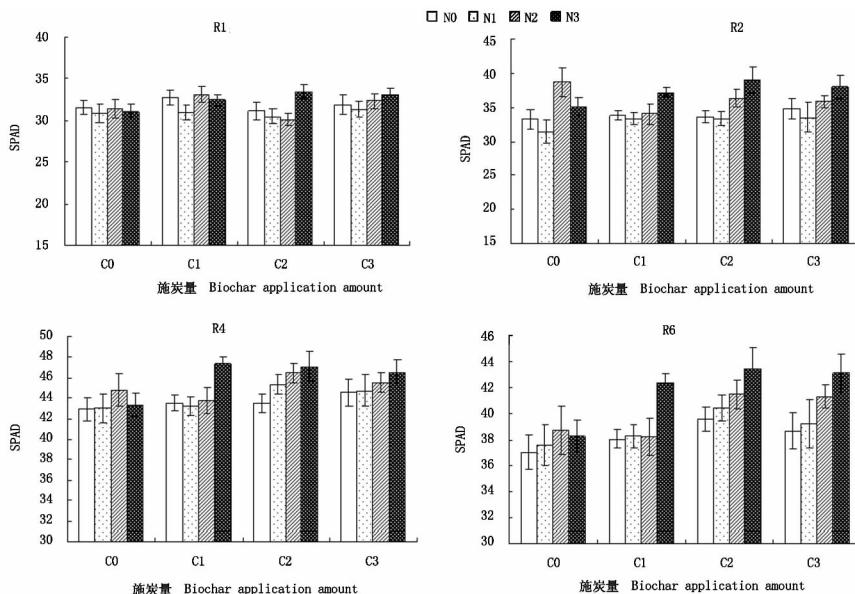


图3 生物炭与氮肥施用比例对大豆不同生育时期叶绿素含量 (SPAD) 的影响

Fig.3 Effect of biochar and nitrogen fertilizer application amounts on SPAD at different growth stages

2.3 生物炭与氮肥施用比例对大豆农艺性状及产量的影响

由表2可见,施炭处理株高均值小于不施炭处理,其中 C1、C2 和 C3 株高均值分别较 C0 低 7.09%、7.35% 和 9.79%。各施氮处理间,施氮量为 N1 时的株高均值较 N0 高 1.62%;而随着施氮量的

增加株高均值下降,施氮量为 N2 和 N3 时的株高均值分别较 N0 低 0.91% 和 6.6%。同种施炭水平下不同施氮量间产量存在差异,产量随着施氮量的增加呈现先升后降的趋势。在 C0 与 C3 条件下,施氮量为 N1 时产量最高;在施炭量为 C1 与 C2 条件下,施氮量在 N2 时产量最高。

表2 生物炭与氮肥施用比例对大豆产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effect of biochar and nitrogen fertilizer application amounts on yield and their components

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100 - seeds weight/g	单株粒重 Seed weight per plant	产量 Yield/kg · hm ²
C0N0	81.00	68.00	15.53	10.56	3168
C0N1	81.60	71.13	15.47	11.00	3300
C0N2	74.60	66.18	15.68	10.38	3113
C0N3	74.30	57.26	15.88	9.09	2728
C1N0	76.80	67.86	15.41	10.45	3136
C1N1	74.90	67.87	15.98	10.85	3254
C1N2	75.40	77.85	15.28	11.90	3569
C1N3	62.30	52.26	15.68	8.19	2458
C2N0	70.20	69.43	15.66	10.87	3261
C2N1	72.80	68.09	16.04	10.92	3276
C2N2	73.30	73.35	15.92	11.70	3510
C2N3	72.30	72.81	15.46	11.25	3376
C3N0	69.00	42.87	15.59	6.68	2005
C3N1	72.50	68.75	15.43	10.61	3183
C3N2	71.00	64.61	15.38	10.01	3004
C3N3	68.50	59.14	15.02	8.88	2664
施炭量 BAA	9.76 **	10.01 **	13.12 **	9.95 **	9.95 **
F 值 施氮量 NAA	7.41 **	19.95 **	4.86 **	12.08 **	12.08 **
F - value 施炭量 × 施氮量 BAA × NAA	3.38 **	12.02 **	9.61 **	5.09 **	5.09 **

* 为差异显著; ** 为差异极显著。

* indicated significant difference; ** indicated extremely significant difference. BAA; Biochar application amount; NAA; Nitrogen application amount.

各处理间产量及产量构成因素的方差分析表明,施炭量间、施氮量间以及施炭量与施氮量的交互作用间产量和产量构成因素均达到了极显著水平。说明通过生物炭与氮肥的混合施用,对产量起到了一定的调控作用。通过产量构成因素与产量的相关分析可知,单株粒数与单株粒重的相关性达到了极显著水平($r=0.99, n=16$),而百粒重与单株粒重的相关性不大($r=0.16, n=16$)。说明生物炭与氮肥配合施用,主要是通过调节单株粒数来影响大豆产量。

2.4 不同施炭水平大豆产量对施氮量的回归方程

由图 4 可见,在各施炭水平下,施氮量与大豆产量的关系可用一元二次方程较好的拟合($R^2 > 0.8$),模型呈开口向下的抛物线,氮回归方程如表 3 所示。因此,大豆产量随着施氮量的增加而增加,达到峰值以后,继续投入氮肥,产量下降。根据回归方程可以预测不同施炭水平下的最适施氮量和理论产量。

由表 3 可知,在不施炭条件下,最适施氮量最

表 3 不同施炭水平下最适施氮量与理论产量间关系

Table 3 Relationship between optimum nitrogen application amount and theoretical yield in different biochar application amounts

施炭量 Biochar application amount/kg · hm ²	施氮量与产量回归方程 Regression equation between nitrogen application amount and yield	R ²	最适施氮量 Optimum nitrogen application amount/kg · hm ²	理论产量 Theoretical yield/kg · hm ²
0	$y = -2.16x^2 + 7.91x + 211.60$	0.996	27.0	3282.90
750	$y = -3.87x^2 + 21.47x + 206.66$	0.897	42.0	3546.90
1500	$y = -1.87x^2 + 13.16x + 205.44$	0.800	52.5	3428.55
2250	$y = -6.32x^2 + 43.93x + 137.67$	0.912	52.5	3209.55

3 结论与讨论

生物炭的施入对大豆生育前期单株干物重的积累起到了抑制的作用,随着生育期的推进抑制作用逐渐降低,生育后期施炭处理单株干物重逐渐高于不施炭处理。但生物炭施用量超过一定范围后仍对单株干物重的积累不利,高炭处理单株干物重小于不施炭处理。

生育前期生物炭的施入对叶面积的影响较小,而生育后期对叶面积的调控起到了一定的促进作用。各施炭处理中 C1(施炭 750 kg · hm²)的 LAI 最高,但随着施炭量的增加 LAI 下降,当施炭量达到 C3(施炭 2 250 kg · hm²)时 LAI 低于不施炭处理。生育前期施炭处理叶绿素含量低于不施炭处理,而生育后期则逐渐高于不施炭处理,可能是由于生育前期生物炭的施入抑制了氮肥肥效的释放,使土壤供氮能力降低,叶绿素含量降低,而生育后期生物炭

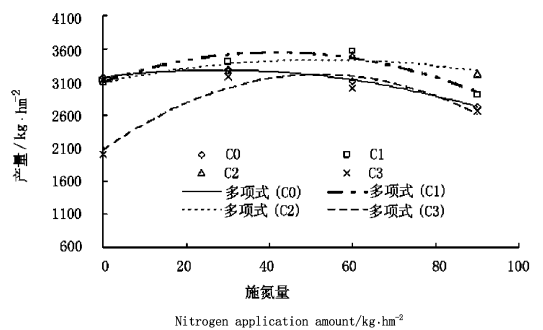


图 4 不同施炭水平下大豆产量对施氮量的响应曲线
Fig. 4 Response curve of soybean yield in different biochar application amounts

低,但理论产量也最低,产量潜力未能充分发挥。当施炭水平为 750 kg · hm²时最适施氮量为 42 kg · hm²,理论产量达到 3546.9 kg · hm²,在各施炭水平中位于最高。当施炭量继续增加时最适施氮量也增加,而理论产量却下降。因此,施炭 750 kg · hm²和施氮 42 kg · hm²为大豆高产的最优组合。

吸附的氮素逐渐释放,土壤供氮能力增强,大豆植株氮素营养吸收量增加,叶绿素含量增加。在不同施炭量条件下,不同施氮处理各生育时期单株干物重及叶面积指数的均值以 N2(施氮 60 kg · hm²)最高,叶绿素的均值以 N3(施氮 90 kg · hm²)最高。

施入生物炭使大豆株高降低,施炭量越多株高降低幅度越大。在同种施炭水平下,大豆产量均随着施氮量的增加而增加,达到最适施氮量以后,继续投入氮肥,产量下降。施炭 750 kg · hm²和施氮 42 kg · hm²为大豆高产的最优施用组合,理论产量为 3 546.9 kg · hm²。生物炭与氮肥配合施用,主要是通过调节单株粒数来影响产量。

秸秆作为生物炭的原材料,我国年产秸秆 5 × 10⁸ t 以上,预测到 2020 年黑龙江剩余秸秆资源量为 5.11 × 10⁶ t^[13],如果以生物炭为基质造肥,施用于土壤能够减少氮素的流失、提高氮肥利用率,提高作物产量,则不仅有助于解决氮肥的过量利用及由

此造成的有关环境问题,而且为黑龙江省庞大秸秆资源的有效利用提供了一个新途径。此外,对于应对气候变化、固碳减排、缓解能源危机、保障粮食安全以及实现可持续发展,都将具有重要的意义。

参考文献

- [1] 周志红,李心清,邢英,等.生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J].地球与环境,2011,19(2):278-284. (Zhou Z H, Li X Q, Xing Y, et al. Effect of biochar amendment on nitrogen leaching in soil[J]. Earth and Environment, 2011, 19(2):278-284.)
- [2] Lehmann J, da Silva J P, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin; fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. Plant and Soil, 2003, 249(2):343-357.
- [3] Woods W I, Falcao N P S, Teixeira W G. Biochar trials aim to enrich soil for small holders[J]. Nature, 2006, 443(7108):144-144.
- [4] Hayes M H B. Biochar and biofuels for a brighter future[J]. Nature, 2006, 443:144-144.
- [5] Lehmann J. A handful of carbon[J]. Nature, 2007, 447:143-144.
- [6] 何绪生,张树清,余雕,等.生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J].中国农学通报,2011,27(15):16-25. (He X S, Zhang S Q, She D, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(15):16-25.)
- [7] Sombroek W, Ruiivo M L, Fearnside P M, et al. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks[M]//Lehmann J, Kern D C, Glaser B, et al. Amazonian Dark Earths: Origin Properties Management. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003: 125-140.
- [8] Hossain M K, Strezov V, Chan K Y, et al. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*) [J]. Chemosphere, 2010, 78(9):1167-1171.
- [9] Yazawa Y, Asakawa D, Matsueda D, et al. Effective carbon and nitrogen sequestrations by soil amendments of ehareoal[J]. Journal of Arid Land Studies, 2006, 15(4):463-467.
- [10] 刘玮晶,刘烨,高晓荔,等.外源生物质炭对土壤中铵态氮素滞留效应的影响,农业环境科学学报,2012,31(5):962-968. (Liu W J, Liu Y, Gao X L, et al. Effects of biomass charcoals on retention of ammonium nitrogen in soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(5):962-968.)
- [11] David L, Pierce F, Wang B Q, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. Geoderma, 2010, 158:436-442.
- [12] 郭伟,陈红霞,张庆忠,等.华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J].生态环境学报,2011,20(3):425-428. (Guo W, Chen H X, Zhang Q Z, et al. Effects of biochar application on total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen content in the topsoil of the high-yield cropland in North China plain[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(3):425-428.)
- [13] 姚宗路,赵立欣,田宜水,等.黑龙江省农作物秸秆资源利用现状及中长期展望[J].农业工程学报,2009,25(11):288-292. (Yao Z L, Zhao L X, Tian Y S, et al. Utilization status and medium and long-term forecast of crop straw in Heilongjiang province [J]. Transaction of the CSAE, 2009, 25(11):288-292.)

欢迎订阅 2015 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业领域学术性期刊,也是被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者、大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

《大豆科学》为双月刊,16开本,国内外公开发行,国内每期定价:10.00元,全年60.00元,邮发代号:14-95。国外每期定价:10.00美元(含邮资),全年60.00美元,国外代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订购。

热忱欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301030000004。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部(邮编:150086)

电话:0451-86668735

网址:www.haasep.cn

E-mail:ddkxbjb@126.com