

腐殖酸不同施用量对小豆生长及产量的影响

陈 剑, 薛仁风, 赵 阳, 葛维德*

(辽宁省农业科学院作物研究所, 沈阳 110161)

摘 要:通过施用不同用量腐殖酸肥探讨了促进小豆生长发育和增加产量的最佳施用量,为腐殖酸肥在辽宁省小豆大田生产上的应用提供理论依据。结果表明,15 g/m²腐殖酸肥处理小豆植株叶面积指数、叶片数、茎粗、根干重、茎秆干重、叶片干重、叶柄干重、根长、根表面积、根体积等值高于5 g/m²和20 g/m²腐殖酸肥处理;15 g/m²腐殖酸肥处理最适宜小豆生长发育,且产量最高。20 g/m²腐殖酸肥对小豆植株各性状起到抑制作用,5 g/m²腐殖酸肥用量不足,未发挥作用。腐殖酸肥促辽宁小豆生育、增产的最佳施用量是15 g/m²。

关键词:小豆;生长;产量;腐殖酸

中图分类号:S521

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)06-0054-05

Effects of Different Humic Acid Dosage on Growth and Yield of Adzuki Bean

CHEN Jian, XUE Renfeng, ZHAO Yang, GE Weide*

(Crop Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract:The optimum application of humic acid fertilizer to promote the growth and yield of adzuki bean was discussed by applying different amounts of humic acid fertilizer, which provided theoretical basis for the application of humic acid fertilizer in the field production of adzuki bean in Liaoning Province. The results showed that the plant development trait values under 15 g/m² humic acid fertilizer treatment, leaf area index, leaf number, stem diameter, root dry weight, stem dry weight, leaf dry weight, petiole dry weight, root length, root surface area and root volume were higher than those under 5 g/m² and 20 g/m² humic acid fertilizer treatment. The treatment of 15 g/m² humic acid fertilizer was most suitable for the growth and development of adzuki beans, and the yield was the highest. Applied 20 g/m² humic acid fertilizer inhibited the various traits of adzuki bean plants, and the amount of 5 g/m² humic acid fertilizer was insufficient. The best application of humic acid fertilizer to promote the growth and increase of Liaoning adzuki bean is 15 g/m².

Key words: Adzuki bean; Growth; Yield; Humic acid

腐殖酸(Humic Acid, HA)是动植物遗骸,主要是植物遗骸经过微生物分解和转化以及一系列化学过程积累起来的一类有机物质。腐殖酸是由芳香族及其活性官能团构成的天然高分子酸性有机混合物,外观呈黑色或褐色,在土壤、湿地和煤炭中都有分布^[1]。腐殖酸复杂结构内的芳香核、桥键和众多活性基团赋予其巨大的比表面积,决定了腐殖酸的吸附、络合、交换、氧化还原等广泛的生物和非生物活性^[2]。腐殖酸肥料是一种多功能型复合肥料,不仅可以改良土壤结构还可以起

到保水、保肥、促进农作物生长的效果^[3]。腐殖酸类物质在农业生产中具有刺激作物生长、增加养分利用、提高作物抗逆和改善农产品品质等功效,是一种可高效利用的绿色肥料^[4]。

研究表明,腐殖酸可提高草莓叶绿素含量及产量,增强草莓果实品质^[5]。腐殖酸与磷肥配施可显著提高小麦的千粒重和生物产量,提高磷肥利用率^[6]。在农业生产中,腐殖酸被广泛地应用在园艺、土壤、肥料、饲料、林业、微生物等诸多领域。腐殖酸肥料弥补了无机化肥的缺陷^[7],被普遍应用于不同作物,均收到明显效果,但腐殖酸对小豆生长的影响研究甚少。本试验通过研究腐殖酸不同施用量对小豆生长及产量的影响,旨在探讨和验证腐殖酸在小豆上的最佳施用量,为辽宁省小豆在实际生产过程中合理施用腐殖酸提

收稿日期:2022-07-09

基金项目:国家食用豆现代农业产业技术体系项目(CARS-08-Z07)

作者简介:陈 剑(1981-),女,副研究员,硕士,主要从事小豆栽培育种研究。

通讯作者:葛维德,男,硕士,研究员,E-mail: snowweide@163.com

供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试小豆品种为辽红小豆2号,由辽宁省农业科学院作物研究所选育并提供。

1.2 试验设计

试验于2021年5~9月,在辽宁省农业科学院旱田试验地进行。前茬作物为芝麻。试验采用随机区组设计,3次重复,设5个腐殖酸处理:0 g/m² (F₀,对照)、10 g/m² (F₁)、15 g/m² (F₂)、20 g/m² (F₃)、25 g/m² (F₄)。小区行长5 m,行距0.6 m,每个处理5行区,小区面积15 m²。腐殖酸肥(粉末)做底肥于春播时开沟施入,其用量按设计一次施入,不施其他底肥。种植密度为15.0万株/hm²。2021年5月26日播种,6月7日出苗,9月22日收获。

1.3 调查项目与方法

1.3.1 叶绿素含量测定

采用SPAD 502叶绿素仪测定施腐殖酸肥后辽红小豆2号在开花期、结荚期、鼓粒期等不同生育时期的叶绿素含量。

1.3.2 叶面积指数的测定

采用CI-110叶面积指数测定仪,在阴天或光度不强的早上,直接用鱼镜头拍摄试验小区内的小豆冠层影像,再用计算软件计算叶面积指数。

1.3.3 干物质积累的测定

分别在小豆的开花期、结荚期、鼓粒期、成熟期,取样测定植株地上部及根干物重(105℃杀青30 min,75℃烘至恒重)。

1.3.4 根系测定

各时期取样后,以子叶节为界把植株分为地上部分和地下部分(根),将根冲洗干净,用EPSON Scanner扫描,然后用WinRHIZO分析根长、根表面积、根体积、根直径。用百分之一电子秤测定根干重。

1.3.5 考种和测产

在小豆收获前,按小区试验的顺序,每个小区采收长势一致的连续5株进行室内考种,按《小豆种质资源描述和数据标准》测定株高、分枝数、主茎节数、单株荚数、荚粒数、单株粒重及百粒重。

1.3.6 试验数据处理方法

采用Microsoft Excel 2007进行原始数据的处理和作图,采用DPS 7.05进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 腐殖酸肥对小豆叶绿素含量的影响

如图1所示,处理F₀~F₄叶绿素含量随着小豆生育进程的推进逐渐升高,至花荚期达到最高,随后略有下降。在花荚期F₁的叶绿素含量最高,为44.2,其他处理叶绿素含量均高于对照,处理F₁~F₄分别比对照F₀高14.5%、13.0%、10.9%、3.4%。

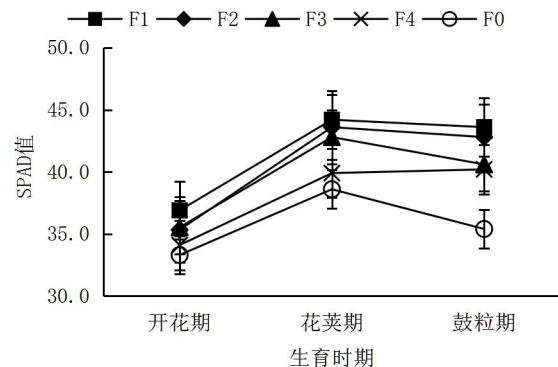


图1 腐殖酸肥对小豆叶绿素含量的影响

2.2 腐殖酸肥对小豆叶面积指数的影响

如图2所示,处理F₁~F₄叶面积指数随着小豆生育进程的推进逐渐升高,从开花期开始迅速增大,至花荚期达到最高,随后逐渐下降,至成熟期降到最低。各生育时期中各处理叶面积指数均高于对照,其中F₂在各生育时期的叶面积指数均明显高于其他处理,在花荚期F₂的叶面积指数达到最大,为4.65,比对照F₀高40.9%。其次是F₃,为4.26,比对照高29.1%。F₁、F₄较对照分别高9.7%、17.9%。

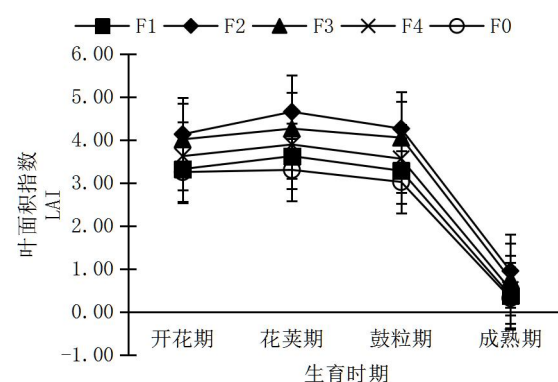


图2 腐殖酸肥对小豆叶面积指数的影响

2.3 腐殖酸肥对小豆叶片数的影响

如图3所示,处理F₁~F₄叶片数从开花期逐渐增多,花荚期开始迅速增大,至鼓粒期达到较大,至成熟期下降到最低。在鼓粒期F₂的叶片数为198个,明显高于其他处理,比对照F₀高25.0%,各处理的叶片数表现为F₂>F₀>F₃>F₄>F₁。

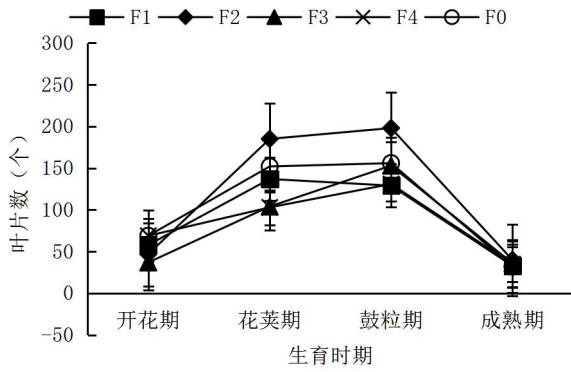


图3 腐殖酸肥对小豆叶片数的影响

2.4 腐殖酸肥对小豆茎粗的影响

从图4可以看出,各处理和对照的茎粗随着小豆生长发育而逐渐增大, F₁的茎粗在花荚期达到最大值,其他处理和对照的最大值均出现在鼓粒期,随后逐渐下降至最低。各处理的茎粗表现为 F₂>F₃>F₄>F₀>F₁。可见,随着腐殖酸施用量的增加,小豆茎粗也呈现出增大的趋势。表明施用腐殖酸肥能不同程度地增加小豆的茎粗。

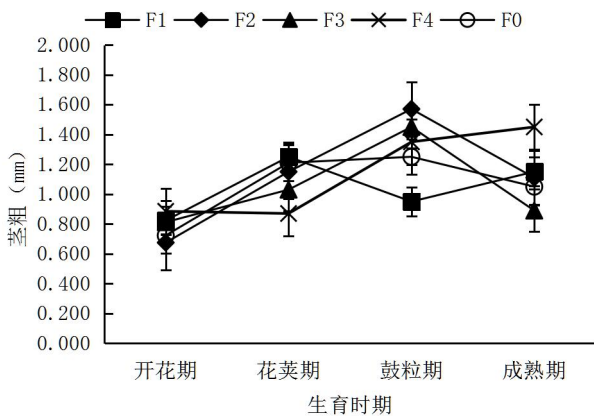


图4 腐殖酸肥对小豆茎粗的影响

2.5 腐殖酸肥对小豆干物质积累的影响

2.5.1 根

由图5可知,不同腐殖酸用量处理下的根干重随着小豆生育期的推进呈先增加后降低的趋势

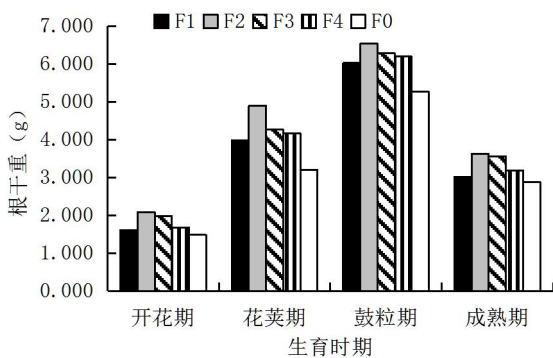


图5 腐殖酸肥对小豆根干重的影响

势,各处理的根干重均在鼓粒期增加至最大值,且各时期各处理的根干重均高于对照。其中, F₂的根干重最大,高出对照 24.1%,其次是 F₃,高出对照 19.4%。F₁的根干重最低,比对照高 14.5%。

2.5.2 茎秆

如图6所示,各处理的茎秆干重均在鼓粒期达到最大,且均大于对照。其中 F₂的茎秆干重最大,各处理比对照分别高出 33.8%、56.7%、48.7%、30.1%。各处理茎秆干重表现为 F₂>F₃>F₁>F₄>F₀。可见,施用不同量的腐殖酸均能促进茎秆干重的增加, F₂处理茎秆干重的增幅最大。

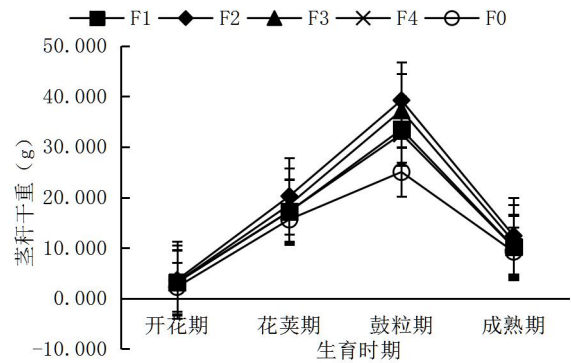


图6 腐殖酸肥对小豆茎秆干重的影响

2.5.3 叶片

如图7所示,随着生育时期的推进,各处理的叶片干重在鼓粒期升至最大值,随后逐渐下降。各生育时期各处理的叶片干重均超过对照,其中 F₂的叶片干重最大,各处理比对照分别高 17.7%、44.0%、34.8%、21.7%。F₀的叶片干重最小。鼓粒期各处理的叶片干重表现为 F₂>F₃>F₄>F₁>F₀。说明 F₂、F₃处理叶片干重的增幅较大, F₁、F₄处理的增幅较小。

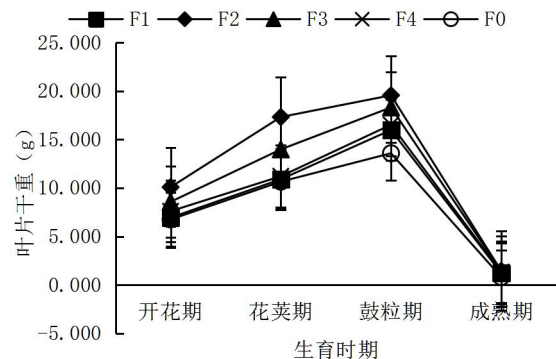


图7 腐殖酸肥对小豆叶片干重的影响

2.5.4 叶柄

从图8可以看出,随着小豆生育进程的不断推进,各处理的叶柄干重均在鼓粒期达到最大

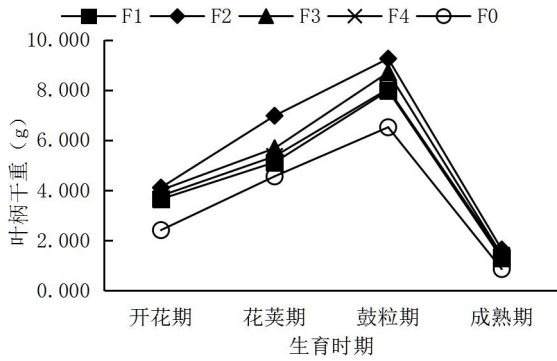


图8 施腐殖酸肥对小豆叶柄干重的影响

值,其中F₂的叶柄干重最大,各处理分别较对照高22.4%、42.0%、33.6%、23.5%。各生育时期各处理叶柄干重表现为F₂>F₃>F₄>F₁>F₀。

2.6 腐殖酸肥对小豆地下部的影响

2.6.1 根长

如图9所示,随着小豆的生长发育,各处理的根长也呈先增加后降低的趋势,并在鼓粒期达到最大值。鼓粒期各处理的根长较对照增加0.01%、6.0%、5.4%、1.0%。各时期各处理的根长增加表现为F₂>F₃>F₄>F₁>F₀。可见,F₂处理对小豆根长的促进作用最大。

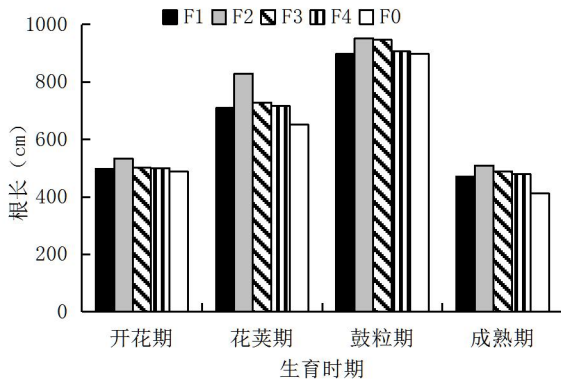


图9 腐殖酸肥对小豆根长的影响

2.6.2 根表面积

如图10所示,各处理根表面积在小豆生育前

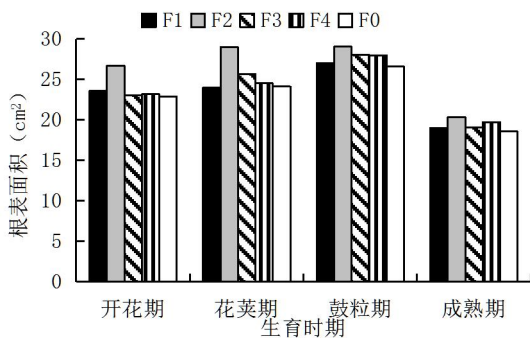


图10 腐殖酸肥对小豆根表面积的影响

期增长缓慢,从开花期开始增长明显,至鼓粒期增加至最大值,变化趋势不明显。各时期各处理的根表面积均超过对照,鼓粒期各处理分别超过对照1.5%、9.2%、5.3%、5.2%,各时期各处理的根表面积变化趋势为F₂>F₃>F₄>F₁>F₀。可见,F₂处理的小豆根表面积最大。

2.6.3 根直径

从图11可以看出,各处理的根直径在小豆各生育时期增长缓慢,至成熟期增加至最大值。其中,F₃、F₄根直径明显高于其他处理和对照,分别较对照高出11.4%、7.6%,成熟期各处理的根直径表现为F₃>F₄>F₀>F₂>F₁。可见,增加腐殖酸用量,小豆的根直径也随之增大。

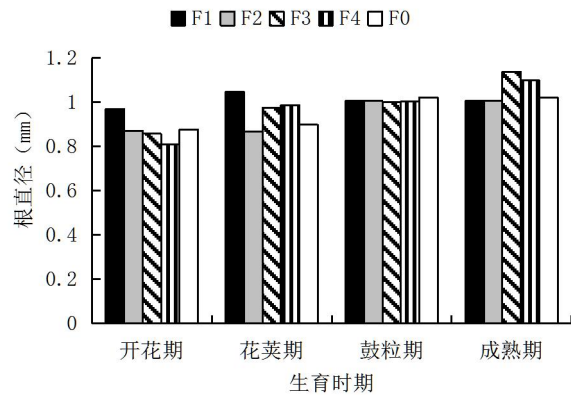


图11 施腐殖酸肥对小豆根直径的影响

2.6.4 根体积

从图12可以看出,各处理根体积均在鼓粒期达到最大值,之后逐渐降低。在鼓粒期,F₂的根体积明显高于其他处理和对照,超过对照18.1%,其次为F₃、F₄,分别比对照高5.8%和2.8%。鼓粒期各处理的根体积表现为F₂>F₃>F₄>F₁>F₀。

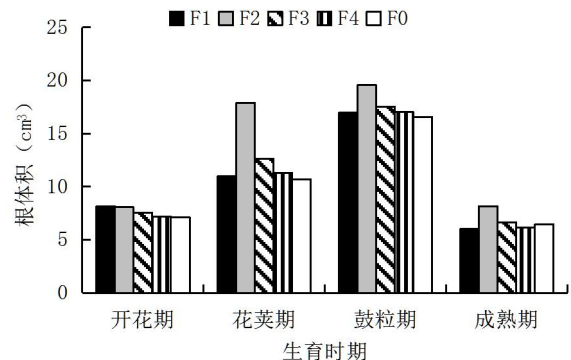


图12 腐殖酸肥对小豆根体积的影响

2.6.5 根冠比

从图13可以看出,各处理根冠比随着小豆的生长发育逐渐上升,在成熟期升至最高。在成熟期F₂的根冠比最大。各处理较对照分别高出

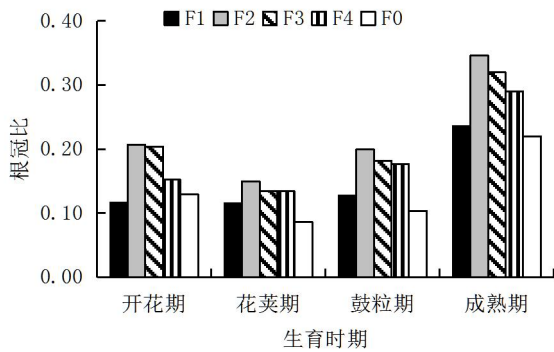


图13 腐殖酸肥对小豆根冠比的影响

7.2%、57.2%、45.3%、31.8%。成熟期各处理的根冠比表现为 $F_2 > F_3 > F_4 > F_1 > F_0$ 。

2.7 腐殖酸肥对小豆产量及其构成要素的影响

如表1所示, F_2 腐殖酸肥处理下的单株荚数最多, 与其他处理差异显著。单荚粒数以 F_2 和 F_4 处理下最多, 高于其他处理和对照, 各处理间单荚粒数无显著性差异。 F_3 的百粒重最大, 较其他处理和对照高22.19%、11.20%、22.43%、15.16%, 各处理差异显著。 F_2 的产量最高, 其次为 F_3 , 分别比对照增产15.67、11.00 kg/667 m²。与其他处理差异显著。各处理的产量表现为 $F_2 > F_3 > F_4 > F_1 > F_0$ 。说明施腐殖酸肥能增加小豆的产量, 其中15 g/m²处理下小豆增产的效果最好。

表1 施腐殖酸肥对小豆产量及其构成要素的影响

处理	单株荚数 (个)	单荚粒数 (个)	百粒重 (g)	产量 (kg/667 m ²)
F_1	37±0.80c	6.4±0.56ab	10.32±0.65c	111.35±0.65d
F_2	45±1.21a	7.2±0.60a	11.34±0.48b	126.01±0.64a
F_3	40±0.85b	6.8±0.70ab	12.61±0.50a	121.34±0.68b
F_4	39±1.10b	7.2±0.60a	10.30±0.47c	113.68±0.61c
F_0	32±0.98d	5.8±0.66b	10.95±0.52bc	110.34±1.47d

注: 表中数值为3次重复“均值±标准差”, 同列小写字母不同表示差异达到显著水平($P < 0.05$)

3 结论与讨论

腐殖酸纯天然、绿色、无公害、无污染, 对促进农业发展、保护环境、促进生态良性循环有着十分重要的意义。但也有研究表明, 并不是添加的越多, 作物产量会越高。过量和少量施用腐殖酸对产量和环境产生较大影响^[8]。对单种玉米腐殖酸施用量进行研究, 结果表明: 腐殖酸铵肥使用量对玉米幼苗长势及各生育期的影响不明显, 百粒重随着腐殖酸铵肥使用量的增加而增加, 穗粒数略呈增加趋势, 但对产量的影响较大^[9]。通过

最小显著性差异法对试验所测的理化参数进行分析, 发现腐殖酸对小麦叶片的氮素、叶绿素、蒸腾作用、净光合作用、可溶性蛋白具有促进作用^[10]。在小麦生产上施用含腐殖酸缓释肥增产效果较明显^[11]。在当地常规管理的基础上, 施用含腐殖酸复合肥料与普通复合肥料相比, 改善了夏玉米的生物学性状, 增加了夏玉米的穗行数、行粒数和千粒质量^[12]。以晚熟油桃新品种福秀为试材, 喷施3种不同叶面肥, 效果以泰宝肥和爱吉富海藻肥较好。综合成本来看以喷施泰宝肥投入产出比最高^[13]。

本研究中不同用量的腐殖酸肥处理下小豆的根干重、叶片干重、叶柄干重、根长、根表面积、根体积, 都是以 F_2 处理最高, 其次为 F_3 处理, F_0 处理最低。总体来看, $F_2 > F_3 > F_4 > F_1 > F_0$ 。 F_2 的产量增幅最大, 比对照 F_0 增产14.20%, 其次为 F_3 处理, 比对照增产9.97%, 增产幅度最小的为 F_1 处理, 仅增产0.92%。

本研究中15 g/m²腐殖酸肥处理的小豆叶面积指数、叶片数、茎粗、根干重、茎秆干重、叶片干重、叶柄干重、根长、根表面积、根体积、根冠比、产量都明显升高。这与前人研究结果基本相符。20 g/m²腐殖酸肥处理的小豆根直径高于其他处理和对照, 这可能是由于肥料中含有促进土壤团粒结构形成的腐殖质、促进植物生长的微量元素和植物激活因子等, 不仅使土壤结构得到改良, 还使土壤通气性和植物的营养状况得以改善。改善了土壤理化性质, 促进了根系的生长发育和对养分的吸收, 提高了作物增产的潜力和品质。

本研究结果表明, 施用腐殖酸肥能增加小豆地上部和地下部的生物量, 促进根系生长发育, 提高小豆产量。施用15 g/m²腐殖酸处理的小豆效果最好, 为腐殖酸肥在小豆上的应用提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 张瑜, 王若楠, 邱小倩, 等. 腐殖酸对植物生长的促进作用[J]. 腐殖酸, 2018(2): 5-9.
- [2] 李艳红, 庄锐, 张政, 等. 褐煤腐殖酸的结构、组成及性质的研究进展[J]. 化工进展, 2015, 34(8): 3147-3157.
- [3] 崔文娟, 牛育华, 赵冬冬, 等. 腐殖酸肥料的研究现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(9): 20-23.
- [4] Canellas L P, Olivares F L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter[J]. Chemical & Biological Technologies in Agriculture, 2014, 1(1): 1-11.
- [5] Eshghi S, Garazhian M. Improving growth, yield and fruit quality of strawberry by foliar and soil drench applications of humic acid[J]. I A R, 2015, 34(1): 14-20.

(下转第106页)

- is not the only *Sus scrofa* chromosome 2p mutation affecting meat production and carcass traits in pigs: evidence from the effects of a cathepsin D (CTSD) gene polymorphism[J]. *J Anim Sci*, 2010, 88(7): 2235–2245.
- [9] 韩瑞华, 管林森, 杨大鹏, 等. 秦川牛 *IGF2* 基因 SNPs 检测及其与胴体、肉质性状的相关性[J]. *遗传*, 2008(12): 1579–1584.
- [10] Ye Q, Xu J, Gao X, et al. Associations of *IGF2* and *DRD2* polymorphisms with laying traits in Muscovy duck[J]. *PeerJ*, 2017, 5: e4083.
- [11] Fan S, Wang P, Zhao C, et al. Molecular Cloning, Screening of Single Nucleotide Polymorphisms, and Analysis of Growth-Associated Traits of *igf2* in Spotted Sea Bass (*Lateolabrax maculatus*)[J]. *Animals(Basel)*, 2023, 13(6): 982.
- [12] 柳俭强, 刘 臣, 张芳毓, 等. 吉林矮小芦花鸡早期生长曲线拟合及相关分析[J]. *畜牧与兽医*, 2020, 52(10): 1–6.
- [13] 丛含羽, 张立春, 张佃萍, 等. 吉林芦花鸡、吉林矮脚芦花鸡与吉林黑鸡杂交 F_1 代表型与生长性状比较分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021(18): 47–52, 57.
- [14] 张佃萍, 张立春, 丛含羽, 等. 北京油鸡与吉林黄鸡杂交 F_1 代表型与生长性状比较分析[J]. *东北农业科学*, 2022, 47(2): 99–102.
- [15] 郑嘉辉, 冷奇颖, 张为露, 等. 矮小体型芦花鸡 *GHR* 基因突变类型分析及其与正常体型芦花鸡发育差异研究[J]. *农业生物技术学报*, 2021, 29(10): 1978–1989.
- [16] Li G, Luo W, Abdalla B A, et al. miRNA-223 upregulated by *MYOD* inhibits myoblast proliferation by repressing *IGF2* and facilitates myoblast differentiation by inhibiting ZEB1[J]. *Cell Death Dis*, 2017, 8(10): e3094.
- [17] Buchanan C M, Phillips A R, Cooper G J. Preptin derived from proinsulin-like growth factor II (proIGF-II) is secreted from pancreatic islet beta-cells and enhances insulin secretion[J]. *The Biochem J*, 2001, 360(2): 431–439.
- [18] Masunaga Y, Inoue T, Yamoto K, et al. *IGF2* Mutations[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2020, 105(1): dgz034.
- [19] Hou G, Wang D, Guan S, et al. Associated analysis of single nucleotide polymorphisms of *IGF2* gene's exon 8 with growth traits in Wuzhishan pig[J]. *Mol Biol Rep*, 2010, 37(1): 497–500.
- [20] Scanes C G, Dunnington E A, Buonomo F C, et al. Plasma concentrations of insulin like growth factors (IGF-I and IGF-II) in dwarf and normal chickens of high and low weight selected lines[J]. *Growth Dev Aging*, 1989, 53(4): 151–157.
- [21] Forbes B E, Blyth A J, Wit J M. Disorders of IGFs and IGF-1R signaling pathways[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2020, 518: 111035.
- [22] Nagao M, Fukuda I, Asai A, et al. Diagnostic potential of miR-483 family for *IGF-II* producing non-islet cell tumor hypoglycemia[J]. *Eur J Endocrinol*, 2021, 184(1): 41–49.
- [23] Luo X, Dong J, He X, et al. MiR-155-5p exerts tumor-suppressing functions in Wilms tumor by targeting *IGF2* via the PI3K signaling pathway[J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 125: 109880.
- [24] Yin H, He H, Shen X, et al. miR-9-5p Inhibits Skeletal Muscle Satellite Cell Proliferation and Differentiation by Targeting *IGF2BP3* through the IGF2-PI3K/Akt Signaling Pathway[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(5): 1655.
- [25] 李玉冬, 王伟佳, 李紫薇, 等. 鸡胰岛素样生长因子 2 基因 (*IGF2*) 外显子区功能性 SNP 预测与分析[J]. *畜牧兽医学报*, 2020, 51(11): 2665–2678.
- [26] 陈则东, 沈晓鹏, 穆洪云. 鸡 *IGF2* 基因外显子 1 的多态性及其与生产性能的相关性[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(6): 331–332.
- [27] 李 源. 京海黄鸡 *IGF2*、*IGF2R* 基因多态性及其与生产性能的相关性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2010.

(责任编辑: 王 昱)

(上接第 58 页)

- [6] Waheed M, Khan M A, Naseem T, et al. Improving effectiveness of rock phosphate through mixing with farmyard manure, humic acid and effective microbes to enhance yield and phosphorus uptake by wheat[J]. *P A B*, 2015, 4(4): 480.
- [7] 彭正萍. 油菜施用腐殖酸复合肥的综合效应与机理研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2001.
- [8] 李 源, 张 炎, 哈丽哈什·依巴提, 等. 腐殖酸尿素施用量及不同配比对新疆膜下滴灌棉花产量及氮肥利用的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 191–197.
- [9] 孙发国, 陈伟恒, 杨生朋, 等. 单种玉米腐殖酸施用量试验研究初报[J]. *安徽农学通报*, 2012, 18(15): 44–45.
- [10] 吕 玮, 李玉环, 张 军, 等. 基于不同腐殖酸供应水平下小麦叶片理化参数及其光谱响应分析[J]. *华北农学报*, 2017, 32(5): 232–238.
- [11] 王 丹, 孙艳敏, 梁中喜, 等. 含腐殖酸缓释肥在小麦上应用效果初报[J]. *农业科技通讯*, 2018(5): 95–96.
- [12] 付翠丽. 含腐殖酸复合肥料在玉米上的肥效试验[J]. *河南农业*, 2018(8): 24–25.
- [13] 王玉霞, 李芳东, 李延菊, 等. 三种叶面肥对晚熟油桃“福秀”果实品质的影响[J]. *东北农业科学*, 2018, 43(4): 41–43.

(责任编辑: 王 昱)