

潘亚杰, 朱晓辉, 常会庆, 等. 秸秆有机肥替代化学氮肥对菠菜生长和氮利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 650-656.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.03.010

秸秆有机肥替代化学氮肥对菠菜生长和氮利用率的影响

潘亚杰¹, 朱晓辉¹, 常会庆^{1,2}, 李长青², 朱鸿雁², 张超²

(1. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471023; 2. 河南新大牧业股份有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要: 合理比例的有机肥氮替代化学氮肥氮可提高作物的产量和品质, 明确有机肥氮替代化学氮肥氮的合理比例对菠菜生长和氮利用效率的影响具有重要意义。本研究采用盆栽试验, 以菠菜为供试蔬菜, 秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥。共设置 6 个处理, 分别为 J1(有机肥氮替代化学氮肥氮的 10%), J2(有机肥氮替代化学氮肥氮的 25%), J3(有机肥氮替代化学氮肥氮的 50%), J4(有机肥氮替代化学氮肥氮的 100%), CK(只施化学氮肥对照)和 CK0(不施化学氮肥和有机肥对照), 结果表明: 与施化学氮肥相比, (1) 在低比例有机肥等氮量替代化学氮肥条件下, 菠菜产量、叶绿素含量和叶片全氮含量有所提高, 100% 替代条件下则会显著降低; (2) 土壤养分方面, 土壤全氮含量在 50% 和 100% 替代比例下显著提高, 土壤碱解氮含量则在 25% 和 50% 替代比例下显著提高; (3) 氮素利用率方面, 10% 替代比例可显著提高氮肥吸收利用率, 当有机肥氮替代比例达到 100% 时, 氮肥偏生产力和氮肥农学利用率则会显著降低。因此, 在菠菜种植过程中, 利用秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥的 10%~25% 是维持和提高其产量及氮利用效率的合理比例。

关键词: 秸秆有机肥; 化学氮肥; 菠菜; 产量; 氮利用率

中图分类号: S636.1, S141.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2022)03-0650-07

Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with straw organic fertilizer on the growth and nitrogen use efficiency of spinach

PAN Ya-jie¹, ZHU Xiao-hui¹, CHANG Hui-qing^{1,2}, LI Chang-qing², ZHU Hong-yan², ZHANG Chao²

(1. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China; 2. Henan Xinda Animal Husbandry Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Replacing chemical nitrogen fertilizer with reasonable proportion of organic fertilizer can improve crop yield and quality, and it is of great significance to clarify its impact on spinach growth and nitrogen use efficiency. In this study, a pot experiment was conducted with spinach as the test vegetable. Under equal nitrogen fertilization, straw organic fertilizer was used to replace chemical nitrogen fertilizer. A total of six treatments were set up, which were J1 (replacing 10% chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer), J2 (replacing 25% chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer), J3 (replacing 50% chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer), J4 (replacing 100% chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer), CK (chemical nitrogen fertilizer) and CK0 (no chemical nitrogen fertilizer and organic fertilizer). The results showed that compared with the treatment of chemical nitrogen fertilizer, the yield, chlorophyll content and total leaf nitrogen content of spinach were increased under low proportion substitution conditions, and significantly decreased under the condition of 100% replacement. In terms of soil nutrients, soil total ni-

收稿日期: 2021-08-27

基金项目: 第四批智汇郑州·1125 聚才计划创新领军人才项目; 国家重点研发计划项目(2017YFD0801304)

作者简介: 潘亚杰(1998-), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事农业废弃物资源化利用研究。(E-mail) 1975290129@qq.com

通讯作者: 常会庆, (E-mail) hqchang@126.com

nitrogen content increased significantly under the conditions of 50% replacement and 100% replacement, and soil alkali-hydrolyzed nitrogen content increased significantly under the conditions of 25% replacement and 50% replacement. In terms of nitrogen use efficiency, the nitrogen absorption and use efficiency could be significantly improved under the condition of 10% replacement. When the replacement ratio of organic fertilizer reached 100%, the partial productivity of nitrogen fertilizer and the agronomic utilization rate of nitrogen fertilizer would be significantly reduced. Therefore, it is reasonable to replace 10%–25% of chemical nitrogen fertilizer with straw organic fertilizer in process of spinach planting for the maintenance and improvement of yield and nitrogen use efficiency.

Key words: straw organic fertilizer; chemical nitrogen fertilizer; spinach; yield; nitrogen use efficiency

中国化肥用量约占世界化肥总用量的一半,但利用率较低,其中化学氮肥利用率不到 30%^[1-2]。为追求粮食和蔬菜高产,大量施加化学氮肥,这是造成农业面源污染的重要原因之一。因此提高化肥尤其是化学氮肥的利用率问题亟待解决。有机肥对提升土壤肥力^[3-4]、提高作物品质和产量具有明显效果^[5],同时也可提高土壤微生物群落多样性^[6-7],因此利用有机肥合理替代化肥,是实现中国化肥零增长目标的重要途径。据统计,中国的农作物秸秆总量高达 1.04×10^9 t,可收集的秸秆资源占 90%^[8],同时规模化畜禽养殖粪污年产量达 3.9×10^9 t^[9],如此丰富的肥源为有机肥替代化肥提供了巨大潜力。因此有机肥和化学氮肥配施是目前农业生产上减氮、增效的重要手段^[10]。

由于有机肥的肥源不同,其养分含量存在差异,因此确定施用过程中有机肥等氮量替代化学氮肥的合理比例是实现作物增产和氮利用效率提高的关键^[11-12]。目前有不少关于畜禽粪便有机肥^[13-14]或生物有机肥^[15-16]的应用效果报道,但是针对秸秆有机肥在蔬菜生产上替代化学氮肥的施用效果不够明确。因此,本研究在菠菜生产上采用以纯秸秆发酵产物为原料的有机肥替代化学氮肥,旨在确定有利于菠菜生产和提高氮素利用率的合理秸秆有机肥替代比例。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

本试验地点位于河南省西部洛阳市河南科技大学($34^{\circ}41'N$, $112^{\circ}27'E$),年均气温 $12.2\sim 24.6$ °C,无霜期 210 d 以上,年均降水量 $528\sim 800$ mm,日照和年均湿度分别为 $2\ 200\sim 2\ 300$ h、60%~70%。

1.2 试验材料

试验供试土壤取自河南科技大学农场,土壤全氮、全磷、全钾、有机质含量分别为 0.68 g/kg、0.78

g/kg、1.94 g/kg、8.5 g/kg,土壤 pH 值为 7.61。研究的秸秆有机肥来源于本课题组,采用玉米秸秆、水稻秸秆、番茄秸秆按照一定比例混合,调节碳氮比在 25:1 至 30:1 之间。经过一次、二次共 60 d 发酵后的物料,其全氮、全磷、全钾含量分别为 26.69 g/kg、6.85 g/kg、25.33 g/kg。

1.3 试验设计

试验采用秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥设计,设置的 6 个处理分别为:J1(秸秆有机肥氮 10%+化学氮肥氮 90%)、J2(秸秆有机肥氮 25%+化学氮肥氮 75%)、J3(秸秆有机肥氮 50%+化学氮肥氮 50%)、J4(秸秆有机肥氮 100%)、CK(化学氮肥氮 100%)和 CK0(不施化学氮肥和秸秆有机肥处理),每个处理重复 3 次,各处理施肥量见表 1。供试土壤风干后过孔径 2 mm 网筛,除去杂草、砂砾等。取 2 kg 土壤放置于高 20 cm,直径 20 cm 的塑料盆钵中,每盆按上述比例施用有机肥与化肥[供试化学氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 12%),钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%)],并使化肥、有机肥和土壤混合均匀,随机排列在温室中。试验于 2019 年 9 月 11 日播种,等菠菜幼苗生长 7 d 后,每盆留 2 株,40 d 后收获。收获前测定菠菜的叶绿素含量,收获时沿盆内土壤表面剪下地上部,用自来水冲洗粘附土粒,并用蒸馏水冲洗,吸干水分后称鲜质量。将盆内根系取出,用水冲洗土粒,再用蒸馏水洗净,蔬菜样品置于烘箱 105 °C 下杀青 0.5 h,后 65 °C 烘干到恒质量待测,同时采集土壤样品,风干后分别过孔径为 2.00 mm 和 0.15 mm 网筛备用。

1.4 测定指标及方法

菠菜收获后测定其鲜质量、干质量,土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定,土壤碱解氮采用碱解扩散法测定,植株叶绿素含量用便携式叶绿素仪(SPAD-502 Plus,日本)测定,植物全氮含量采用凯氏定氮

法测定^[17]。

表 1 各处理的施肥量

Table 1 Fertilization amount of each treatment

处理	K ₂ O (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	化学氮肥 N (g/kg)	有机肥 (g/kg)
CK0	0.25	0.13	0	0
CK	0.25	0.13	0.270 0	0
J1	0.25	0.13	0.243 0	1.0
J2	0.25	0.13	0.202 4	2.5
J3	0.25	0.13	0.135 0	5.0
J4	0.25	0.13	0	10.0

J1 为秸秆有机肥氮 10%+化学氮肥氮 90%处理,J2 为秸秆有机肥氮 25%+化学氮肥氮 75%处理,J3 为秸秆有机肥氮 50%+化学氮肥氮 50%处理,J4 为秸秆有机肥氮 100%处理,CK 为化学氮肥氮 100%处理,CK0 为不施化学氮肥和秸秆有机肥处理。

收获指数 = 地上部干质量 / (地上部干质量 + 地下部干质量) (1)

土壤氮素生产率 = 地上部鲜质量 / 播种前土壤总氮 (2)

氮素吸收利用率 = (施氮区地上部总吸氮量 - 无氮区地上部总吸氮量) / 施氮量 × 100% (3)

氮素农学利用率 = (施氮区产量 - 无氮区产量) / 施氮量 (4)

氮素偏生产力 = 施氮区产量 / 施氮量 (5)

1.5 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理并制图,SPSS 17.0 软件进行数据统计分析。

表 2 有机肥氮不同比例替代化学氮肥氮对菠菜生长的影响

Table 2 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on the growth of spinach

处理	株高 (cm)	地上部鲜质量 (g,1 盆)	地下部鲜质量 (g,1 盆)	地上部干质量 (g,1 盆)	地下部干质量 (g,1 盆)	总鲜质量 (g,1 盆)	总干质量 (g,1 盆)	收获指数
CK0	14.50±0.50cd	20.83±1.73c	2.49±0.73b	3.63±0.68b	0.37±0.06b	23.32±1.82d	4.00±0.65c	0.90±0.02a
CK	14.00±1.00cd	55.11±2.45ab	5.70±2.49a	7.44±1.01a	0.88±0.11a	60.80±1.70b	8.32±1.08a	0.89±0.01ab
J1	16.25±0.35ab	65.75±10.59a	9.16±1.69a	8.56±1.07a	1.31±0.18a	74.91±9.99a	9.88±1.27a	0.88±0.01abc
J2	17.00±0.71a	61.29±6.55ab	9.05±2.51a	7.57±1.06a	1.23±0.31a	70.35±3.61ab	8.80±1.43a	0.87±0.02abc
J3	15.00±0.0bc	49.91±9.48b	7.50±2.32a	7.02±1.42a	1.03±0.33a	57.41±9.07b	8.05±1.82ab	0.86±0.01bc
J4	12.50±2.12d	31.48±2.66c	7.92±2.55a	4.97±0.52b	0.91±0.19a	39.40±4.19c	5.88±0.75ab	0.85±0.01c

J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表 1 注;同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

2.2 秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮对菠菜叶绿素和叶片全氮含量影响

土壤的供肥能力可以通过蔬菜的叶绿素含量间接得到体现。由图 1 可知,CK0 的叶绿素含量 (SPAD 值) 最低,只有 36.9,J1 处理的叶绿素含量

2 结果分析

2.1 秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮对菠菜生长的影响

秸秆有机肥替代化学氮肥会影响到菠菜地上、地下部产量,由表 2 可知,J1 处理和 J2 处理的地上部鲜质量比 CK 分别提高了 19.3% 和 11.2%,J3 处理的地上部鲜质量较 CK 降低但差异不显著,J4 处理的地上部鲜质量则较 CK 显著降低;J1、J2、J3、J4 处理地下部鲜质量相比 CK 分别提高了 60.7%、58.9%、31.7% 和 39.1%,J1 处理和 J2 处理的总鲜质量相比 CK 显著提高了 23.2% 和 15.7%。

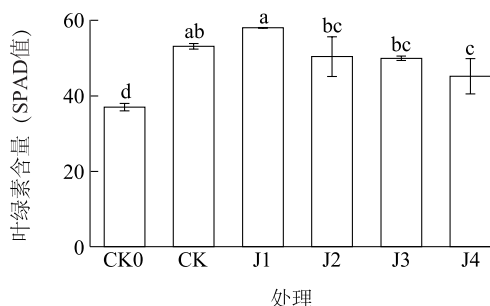
J1 处理和 J2 处理地上部干质量相比 CK 提高了 15.1% 和 1.8%,J1、J2、J3、J4 处理的地下部干质量相比 CK 分别提高了 50.1%、40.7%、18.2% 和 4.5%;菠菜的产量以总干质量计算,随着有机肥氮替代比例的增加,菠菜总干质量呈现降低趋势,J1 处理和 J2 处理菠菜总干质量相比 CK 提高了 18.8% 和 5.9%。

J4 处理的收获指数最低为 0.85,且显著低于 CK,说明当秸秆有机肥氮的替代比例过大时,会引起菠菜的收获指数降低。随着有机肥氮替代比例的增加,菠菜的株高呈现先增加后降低的趋势,其中 J2 处理最有利于菠菜生长。J1、J2 处理相较于 CK,株高分别显著增加了 16.1% 和 21.4%。

(SPAD 值) 最高为 57.9,且 J1 处理相较 CK 的叶绿素含量 (SPAD 值) 提高了 9.2%,当有机肥氮替代量达到 100% 时,叶绿素含量 (SPAD 值) 相较于 CK 显著降低 14.9% ($P < 0.05$),可见在有机肥等氮量替代化学氮肥的 10%~50% 时不会对菠菜的叶绿素含量

产生显著影响。

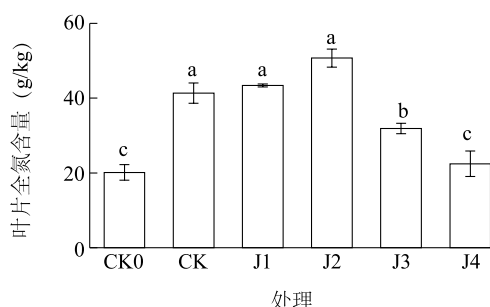
菠菜叶片全氮含量见图2, J2处理的叶片全氮含量最高为45.8 g/kg, 其次为J1处理43.4 g/kg, 相较于CK分别提高了10.6%和4.9%, 而J3、J4处理相较于CK, 叶片全氮含量则显著降低了23.0%和45.7%, 因此当有机肥等氮量替代化学氮肥的10%~25%时, 不会影响到菠菜对氮素的吸收利用。



J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表1注;不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图1 有机肥氮不同比例替代化学氮肥氮对叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on chlorophyll content



J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表1注;不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。

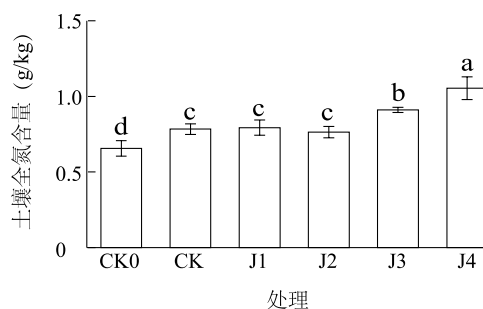
图2 有机肥氮不同比例替代化学氮肥氮对植株叶片全氮含量的影响

Fig.2 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on total nitrogen content in plant leaves

2.3 秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮对土壤氮素养分的影响

由图3可知,随着有机肥氮替代化学氮肥氮比例的增加,土壤全氮含量基本上呈增加趋势。J4处理的土壤全氮含量显著高于其他各处理,与CK相比,其土壤全氮含量显著提高了35.1%。J1、J3处理相较于CK,土壤全氮含量分别提高了2.0%和

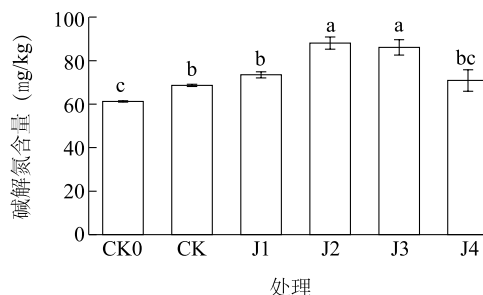
16.5%。由图4看出,和土壤全氮含量变化趋势不同,随着有机肥氮替代化学氮肥氮比例的增加,土壤中碱解氮含量呈现先增加后降低的趋势,其中J2、J3处理相较于CK,土壤碱解氮含量显著增加了28.6%和25.5%。



J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表1注;不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图3 有机肥氮不同比例替代化学氮肥氮对土壤全氮含量的影响

Fig.3 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on soil total nitrogen content



J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表1注;不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图4 有机肥氮不同比例替代化学氮肥氮对土壤碱解氮含量影响

Fig.4 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on the soil alkali-hydrolyzed nitrogen content

2.4 秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮对氮素利用率影响

有机肥氮替代化学氮肥氮不但会影响到土壤中的氮素含量而且会影响菠菜对氮素的利用效率。由表3可知,J1、J2处理有利于土壤氮素生产率的提高,J4处理的土壤氮素生产率显著低于CK;随着有机肥氮替代化学氮肥氮比例的增加,氮肥吸收利用率先增加后降低,其中J1处理的氮肥吸收利用率最高,为55.23%,且显著高于其他各处理,J2处理与

CK 的氮肥吸收利用率差异不显著。当有机肥氮等氮量替代化学氮肥氮 50%~100% 时,氮肥吸收利用率显著低于其他各处理。随着有机肥氮替代化学氮肥氮比例增加,氮肥偏生产力和氮肥农学利用率呈现先增后降趋势,其中 J1 处理的氮肥偏生产力最

高,为 15.86 g/g, J4 处理和 CK 之间的氮肥偏生产力差异显著; J1 处理的氮肥农学利用率最高,为 9.14 g/g, J4 处理氮肥的农学利用率为 2.48 g/g,且显著低于其他各处理。

表 3 有机肥氮替代化学氮肥氮对菠菜氮利用效率的影响

Table 3 Effects of replacing chemical nitrogen fertilizer with different proportions of organic fertilizer on nitrogen use efficiency of spinach

处理	土壤氮素生产率 (g/g)	氮肥吸收利用率 (%)	氮肥偏生产力 (g/g)	氮肥农学利用率 (g/g)
CK	28.95±2.9ab	43.13±5.00b	13.78±1.52a	7.06±1.52a
J1	34.54±4.33a	55.23±7.33a	15.86±1.63a	9.14±1.63a
J2	32.20±3.69ab	44.15±2.05b	14.02±1.61a	7.30±1.61a
J3	26.22±1.54b	31.04±2.03c	13.00±2.15a	6.28±2.15a
J4	16.54±6.25c	6.81±0.67d	9.20±0.79b	2.48±0.79b

J1、J2、J3、J4、CK、CK0 见表 1 注; 同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

3 讨论

3.1 有机肥氮替代化学氮肥氮对蔬菜产量影响

蔬菜生产过程中产量的提高过多依赖化肥投入,而有机肥投入严重不足^[18]。本研究结果表明: 秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮比例为 10% 和 25% 时,有利于菠菜产量及氮利用效率的维持和提高,陈自雄等^[19]的研究结果表明,当有机肥氮替代化学氮肥氮的比例在 30% 时,马铃薯的产量最高,超过 30% 后就会对马铃薯的产量和其他营养成分产生负面影响。杨仁仙^[20]的研究结果则表明,油菜在 20% 的有机肥氮替代化学氮肥氮比例下产量最高,武星魁等^[21]的研究结果也说明 25% 的有机肥氮是合适的替代比例,在此比例下包心菜和小白菜的产量最高。以上研究结果与本试验秸秆有机肥 10% 等氮量替代比例下,菠菜产量最高的结果存在一定的差异,可能与秸秆中氮素主要为有机肥氮的形态存在有关,相对于速效养分含量高的畜禽有机肥养分释放较慢^[22],因此较低比例的秸秆有机肥氮替代化学氮肥氮有利于菠菜产量的增加,可见有机肥氮替代化学氮肥氮对蔬菜或作物产量的影响和有机肥类型有关^[23-24]。此外,土壤养分本底值的高低也会影响到有机肥氮的替代比例,毛伟等^[25]的研究结果表明高、中肥力条件下有机肥等氮量替代 10%~30% 化学氮肥以及低肥力条件下有机肥等氮量替代 20%~30% 化学氮肥是适合小麦生产的替代比例。因此鉴于有机肥区域利用特征,有必要针对本地主要有机

肥类型,研究其农用氮素替代比例。

3.2 有机肥氮替代化学氮肥氮对土壤氮素养分及利用效率影响

适当比例的有机肥氮替代化学氮肥氮有利于土壤氮素的维持和提高。蒋雨洲等^[7]和王安等^[26]都认为施用有机肥可以提高土壤碱解氮含量,丁晓娟等^[27]的研究结果也说明 30% 有机肥等氮量替代化学氮肥能够显著提高蔬菜地土壤碱解氮。本研究结果表明有机肥替代化学氮肥后,土壤中的全氮和碱解氮有增加趋势,可见有机肥的施用有利于土壤氮素的保持和提高^[28-29]。原因在于施用有机肥会将大量有机质带入土壤中,同时还可能会提高土壤中相关微生物和酶活性,从而提高土壤养分的转化和利用效率^[30],此外有机肥对土壤氮素养分的影响还与土壤的类型、蔬菜种植结构等影响因素有关^[31-32]。因此有必要根据当地的土壤和主要蔬菜种植类型,通过研究有机肥施用对土壤氮素的影响,确定其替代化学氮肥的合理比例。

养分利用率是衡量施肥合理性最直接的指标^[33-35],合理的有机肥替代化学氮肥可以提高作物对氮素的利用效率。哈丽哈什·依巴提等^[36]的研究结果表明,有机肥等氮量替代化学氮肥的 10%~30% 可以提高棉花的化学氮肥偏生产力和农学效率。一定范围内施用有机肥也可以提高小麦的化学氮肥利用率,还可以减少氮素的损失^[37]。喻华等^[38]的研究结果表明,有机肥等氮量替代化学氮肥的 25% 时,黄瓜的化学氮肥农学利用率和化学氮肥偏生产力最

高,其主要原因是化肥中氮素释放比较快,易损失,导致作物后期氮素供应不足,不仅影响作物光合作用,而且不利于氮素的吸收积累^[39]。而有机肥无机肥配施能够满足作物各个时期对氮素的需求,减少了氮素的流失,提高氮素利用率^[40]。本试验中,有机肥氮替代化学氮肥氮比例在10%~25%,有利于氮素生产率、氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学利用率的维持和提高,超过上述比例后不利于氮素利用效率的提高,鉴于本研究只是一茬的试验结果,后续还需通过连续多茬的试验来验证有机肥氮替代化学氮肥氮的合理比例。

4 结 论

与常规施肥相比,秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥的10%~25%,有利于菠菜产量的维持和提高;秸秆有机肥替代化学氮肥有利于土壤全氮含量和速效氮含量的维持和提高,并且在秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥的25%~50%时,土壤碱解氮含量显著高于常规施肥处理;秸秆有机肥等氮量替代化学氮肥的10%~25%,有利于菠菜氮肥吸收利用率和生产效率的维持和提高。因此利用秸秆有机肥替代化学氮肥进行蔬菜种植时,建议氮素替代比例控制在10%~25%。

参考文献:

- [1] 王响玲,宋柏权. 氮肥利用率的研究进展[J]. 中国农学通报, 2020,36(5):93-97.
- [2] 侯萌瑶,张丽,王知文,等. 中国主要农作物化肥用量估算[J]. 农业资源与环境学报, 2017,34(4):360-367.
- [3] 孙志祥,李敏,韩上,等. 有机肥部分替代化肥和秸秆还田对双季稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020,47(6):1012-1016.
- [4] 汪苏洁,贵会平,董强,等. 有机肥替代对棉花养分积累、产量及土壤肥力的影响[J]. 棉花学报, 2021,33(1):54-65.
- [5] 侯俊,王帅,崔士通,等. 沙土地有机肥替代化肥与灌溉优化在苜蓿上的耦合效应研究[J]. 中国土壤与肥料, 2018(6):104-111.
- [6] 姜莉莉,王开运,武玉国,等. 施用生物有机肥对番茄果实品质及土壤生物学特性的影响[J]. 华北农学报, 2020,35(6):141-147.
- [7] 蒋雨洲,陈顺辉,李文卿,等. 有机肥长期定位施用对烟田土壤养分和烟株根际土壤细菌群落的影响[J]. 中国烟草学报, 2019,25(6):60-70.
- [8] 霍丽丽,赵立欣,孟海波,等. 中国农作物秸秆综合利用潜力研究[J]. 农业工程学报, 2019,35(13):218-224.

- [9] 付浩然,李婷玉,曹寒冰,等. 我国化肥减量增效的驱动因素探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020,26(3):561-580.
- [10] 李燕青,温延臣,林治安,等. 不同有机肥与化肥配施对氮素利用率和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019,25(10):1669-1678.
- [11] 韩梯倩,刘震,刘玉汇,等. 减氮及有机替代对马铃薯根系形态和产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2020,32(12):2111-2118.
- [12] 张洋,张荣. 有机肥替代部分化肥对温室辣椒产量、品质和土壤硝态氮含量的影响[J]. 青海农林科技, 2020(2):7-11.
- [13] 周炜,王子臣,宗焦,等. 沼液与有机肥配施对稻田磷、钾素径流损失的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6):240-245.
- [14] 汤昀,庞震鹏,朱教宁,等. 不同鸡粪有机肥施用量对温室黄瓜产量及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2020,48(11):1816-1819.
- [15] 马利平. 生物有机肥替代化肥减施对大豆土壤微生物多样性的影响[D]. 哈尔滨:黑龙江大学, 2019.
- [16] 赵满兴,刘慧,王静,等. 减量复合配施生物有机肥对番茄土壤肥力及酶活性的影响[J]. 农学学报, 2020,10(2):56-61.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:39.
- [18] 黄绍文,唐继伟,李春花,等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报, 2017,23(6):1480-1493.
- [19] 陈自雄,杨荣洲,张娟宁,等. 有机肥氮替代部分化肥氮对马铃薯产量及其构成因素的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(7):24-27.
- [20] 杨仁仙. 浦城油菜上有机肥替代化肥减量初探[J]. 中国农技推广, 2020,36(9):68-69.
- [21] 武星魁,姜振萃,陆志新,等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. 中国生态农业学报, 2020,28(3):349-356.
- [22] 罗佳,黄兴学,林处发,等. 有机肥替代部分化肥对生菜产量和品质的影响[J]. 农业开发与装备, 2018,201(9):126-128.
- [23] 郭校伟,潘军晓,张济世,等. 好氧发酵猪粪部分替代化肥提高夏玉米氮素利用率和土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2020,26(6):1025-1034.
- [24] 郭喜军,谢军红,李玲玲,等. 氮肥用量及有机无机肥配比对陇中旱农区玉米光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020,26(5):806-816.
- [25] 毛伟,曾洪玉,李文西,等. 不同土壤肥力下有机氮部分替代化学氮对小麦产量构成及土壤养分的影响[J]. 江苏农业学报, 2020,36(5):1189-1196.
- [26] 王安,孙剑霞,常庆涛,等. 不同有机肥用量对芋头生长、食味品质和土壤肥力的影响[J]. 农学学报, 2020,10(8):42-46.
- [27] 丁晓娟. 江苏泗洪县有机肥部分替代化肥对蔬菜地土壤肥力的提升效果[J]. 农业工程技术, 2020,40(23):21-22.
- [28] 蒋仁成,厉志华,李德民,等. 有机肥和无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究[J]. 土壤学报, 1990,27(2):179-186.
- [29] 张鹏,贾志宽,路文涛,等. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011,17(5):1122-1130.

- [30] 于跃跃,郭 宁,闫 实,等. 有机肥替代化肥对土壤肥力和玉米产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(3):148-154.
- [31] 张亚丽,张 娟,沈其荣,等. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J].应用生态学报,2002,13(12):1575-1578.
- [32] CRISTINA L, MARIA G-B, PEDRO R, et al. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49(6): 723-733.
- [33] 孟祥明,黄晓曼,李 健,等. 喷施叶面镁肥对设施甜椒干物质累积、养分利用和产量的影响[J].南方农业学报,2020,51(8):1953-1959.
- [34] 王 静,王允青,万水霞,等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原糯稻养分吸收利用的影响[J].江苏农业学报,2020,36(1):77-82.
- [35] 郑网宇,陈功磊,吴 迪,等. 不同肥力水平土壤小麦的氮磷钾肥料效应及养分吸收利用研究——以太湖流域丹阳市为例[J].江苏农业科学,2019,47(23):96-101.
- [36] 哈丽哈什·依巴提,李青军,张 炎. 有机肥氮替代部分化肥氮对棉花养分吸收、氮素利用和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(3):137-142.
- [37] 杨晓梅,李桂花,李贵春,等. 有机无机配比比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2014(4):48-52.
- [38] 喻 华,秦鱼生,陈 琨,等. 有机肥料与化肥配施在黄瓜上减氮增效效应[J].江苏农业科学,2020,48(14):158-162.
- [39] 吴中伟,樊高琼,王秀芳,等. 不同氮肥用量及其生育期分配比例对四川丘陵区带状种植小麦氮素利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1338-1348.
- [40] 段英华,徐明岗,王伯仁,等. 红壤长期不同施肥对玉米氮肥回收率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1108-1113.

(责任编辑:蒋永忠)