

李岚坤,吴杰,常会庆,等. 有机肥替代无机氮对菠菜生长及氮利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(8):139-144.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.08.020

有机肥替代无机氮对菠菜生长及氮利用效率的影响

李岚坤¹, 吴杰¹, 常会庆¹, 李长青², 朱鸿雁², 张超²

(1. 河南科技大学,河南洛阳 471003; 2. 河南新大牧业股份有限公司,河南郑州 450001)

摘要:明确有机肥替代氮肥对菠菜生长及氮素利用的影响,可为菠菜等蔬菜生产过程中减肥增效提供方案和依据。采用盆栽试验,等氮量进行猪粪有机肥(10%、25%、50%、100%)氮素替代研究。结果表明,与单施化肥相比,25%的猪粪有机肥替代氮肥处理后菠菜显著增产 36.57%,硝酸盐含量随着氮素替代比例的增加而降低,且当氮素替代达 50% 时,会显著降低菠菜中的硝酸盐含量;各有机肥替代处理均可提升土壤全氮含量,增量范围为 6.69%~27.97%;氮素替代比例为 10% 和 25% 时,土壤的铵态氮和硝态氮含量均比单施化肥处理升高。猪粪替代氮肥比例为 25% 时,氮素收获指数较单施化肥增加 3.14%,且在该替代比例下,有利于氮素从地下部向地上部的转移积累,导致土壤氮素生产率、氮肥农学利用率和偏生产力均显著增加。因此,从产量和氮肥利用率等方面综合考虑,25% 的猪粪有机肥替代氮肥比例适合在该蔬菜生产上推广。

关键词:菠菜;有机肥;氮肥;替代;氮素利用率

中图分类号:S636.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)08-0139-06

我国农业生产中,由于传统的“高投入高收获”施肥观念,导致化肥用量逐年上升,过量施用氮肥会降低肥料利用率和作物品质,也增加了作物生产成本,对环境造成负面影响^[1-2]。我国的肥料利用率相对较低,大多数蔬菜氮肥利用率仅 20% 左右^[3],谷物更是低于世界平均水平 20%~30%^[4]。为此,我国制定了到 2020 年化肥使用量零增长行动方案,目的在于减少农业生产中化肥用量,提高作物对养分的吸收效率,同时减少过量施用化肥所产生的面源污染。

近年来,有机-无机肥配施已经成为降低化肥用量、提高肥料利用率的主要手段^[5-6]。研究发现,蔬菜生产中将有机肥适量配合化肥施用,可以提升蔬菜产量、品质和化肥利用率^[7]。化肥减施 25%~40% 并不会对蔬菜产量造成显著影响^[8-9],减施 20%~30% 的条件下配施有机肥,对作物产量也无影响^[10-11]。有机肥的配施还具有提高土壤肥力以及微生物群落多样性等功效^[12-13]。

通过测算,我国规模化畜禽养殖粪污年产量 39 亿 t,主要作物秸秆产量达 9 亿 t^[14],丰富的肥源为有机替代提供可能性。2017 年我国发布了开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案,鼓励有机肥在上述经济作物的替代施用。但由于有机肥体积大、价格低,运输范围小等缺点,决定了其区域化适用特点。而不同地区有机肥原料各异,施用土壤、作物类型不同,使有机肥替代化肥的合理比例存在差异^[15-16],而确定合理化肥替代比例是决定作物产量、品质及养分利用效率的关键依据。因此,利用当地主要的有机肥源,在等氮条件下,开展有机肥替代氮肥对菠菜生长和氮素利用效率影响研究,以期对当地蔬菜等经济作物生产过程中有机肥合理替代氮肥提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试猪粪有机肥取自洛阳某有机肥厂,其中猪粪是经过立式好氧发酵罐高温发酵的产物;供试土壤为石灰性褐土,取自河南科技大学农场。供试材料性状见表 1。

1.2 试验设计

采用盆栽试验,设不施肥处理(CK),100% 化肥处理(NPK),在等氮条件下猪粪氮素替代氮肥的占比分别为 10%、25%、50%、100% 的 4 个处理(OZ1、

收稿日期:2022-05-04

基金项目:第四批“智汇郑州·1125 聚才计划”;国家重点研发计划(编号:2017YFD0801304)。

作者简介:李岚坤(1998—),男,河南郑州人,硕士研究生,主要从事环境污染修复研究。E-mail:1362444583@qq.com。

通信作者:常会庆,博士,教授,主要从事环境污染修复与废弃物资源化利用研究。E-mail:hqchang@126.com。

表 1 供试材料基本理化性状

供试材料	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	有机质含量 (%)	pH 值	有效磷含量 (g/kg)	有效钾含量 (g/kg)	碱解氮含量 (g/kg)
土壤	0.68	0.78	1.94	0.85	7.61	0.015	0.131	0.032
猪粪	26.69	5.76	28.65	54.32	7.63	—	—	—

OZ2、OZ3、OZ4),共 6 个处理。将上述土壤风干、过筛后,取 2 kg 土壤于高 20 cm,直径 20 cm 塑料盆中,每 kg 土壤的施肥量为 N:0.27 g,P₂O₅:0.13 g,K₂O:0.25 g,按上述氮肥替代比例施用有机肥与化肥并混合均匀。每个处理重复 3 次,随机排列在温室中。以四季大叶菠菜为供试品种,试验从 2019 年 9 月播种,等幼苗生长 1 周后,每盆留 2 株,在 2019 年 11 月中旬收获。

1.3 样品采集与测定

在菠菜旺产期采集土壤和菠菜样品,其中土壤样品风干后分别过 0.85、0.15 mm 土筛后备用。土壤基本理化性质的测定参照《土壤农业化学分析方法》^[17]。菠菜收获后进行鲜质量测定,硝酸盐含量采用水杨酸比色法测定^[18]。剩余植物样品在烘箱 105 ℃下杀青 30 min 后,65 ℃烘干至恒质量,测地上部、地下部干质量。采用叶绿素仪测定叶绿素含量,测定部位为中部叶片的上中下 3 个部位,取其平均值。

1.4 氮素利用率

氮素收获指数^[19] = 地上部氮素积累量(mg)/植株氮素积累量(mg);

土壤氮素生产率^[20] (g/g) = 地上部鲜质量/播种前土壤总氮;

氮肥农学利用率^[21] (g/g) = (施氮处理产量 - 无氮处理产量)/施氮量;

氮肥偏生产力^[19,21] (g/g) = 施氮处理产量/施氮量。

1.5 数据分析

利用 Excel 2007 进行数据处理分析,选用 Duncan’s 法进行显著性检验(α = 0.05),Origin 2019 进行作图。

2 结果与分析

2.1 有机肥替代氮肥对菠菜产量、叶绿素含量的影响

有机肥替代氮肥的 OZ1、OZ2、OZ3 处理与 NPK 相比,菠菜产量分别增产 12.74%、36.57%、

7.48%,但仅 OZ2 处理增产效果显著。有机肥 100% 替代无机氮肥的 OZ4 处理较 CK 增产,但与 NPK 相比显著减产 48.95%。试验中当有机替代占比超过 25% 以后,菠菜产量将会逐渐降低。菠菜叶绿素含量跟产量变化趋势类似。与 NPK 相比,OZ1、OZ2、OZ3 处理的叶绿素含量分别增加 2.81%、4.24%、0.35%,都未达到显著差异。OZ4 的叶绿素含量同样较 CK 增加,而较 NPK 显著降低 21.02%(表 2)。

表 2 不同施肥处理对产量和叶绿素含量的影响

处理	产量 (g/盆)	叶绿素含量 (mg/kg)
CK	20.83 ± 1.41c	37.03 ± 4.84b
NPK	55.11 ± 2.00b	53.05 ± 2.01a
OZ1	62.13 ± 5.41b	54.54 ± 7.20a
OZ2	75.26 ± 7.96a	55.30 ± 5.23a
OZ3	59.23 ± 1.99b	53.23 ± 1.10a
OZ4	28.13 ± 3.84c	41.90 ± 6.63b

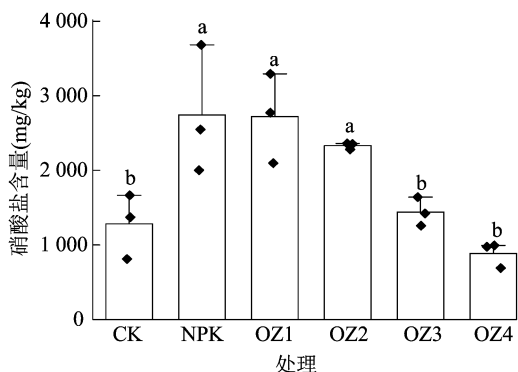
注:同列数值后的不同小写字母表示处理间差异性显著(P < 0.05)。表 3 同。

2.2 有机肥替代氮肥对菠菜硝酸盐含量影响

蔬菜品质的高低往往与硝酸盐含量有关,本研究中随着猪粪替代比例的增加,菠菜硝酸盐含量逐渐降低(图 1)。与单施化肥 NPK 相比,有机肥替代部分无机氮肥的 OZ1、OZ2、OZ3 处理,其硝酸盐含量分别降低 0.81%、15.03%、47.51%,其中 OZ3 处理的硝酸盐含量显著降低,其硝酸盐含量为 1 440.57 mg/kg,但与不施肥 CK 的硝酸盐含量相比没有显著性差异。与 NPK 处理相比,有机肥 100% 替代无机氮肥的 OZ4 处理,其硝酸盐含量显著降低 67.72%。由此可知,当有机肥替代无机氮肥的比例超过 50% 以后,有利于菠菜中硝酸盐含量降低。

2.3 有机肥替代氮肥对土壤氮素的影响

有机肥替代氮肥会使土壤全氮含量高于 CK 或 NPK 处理(图 2)。与 NPK 相比,OZ1、OZ2、OZ3、OZ4 处理的全氮含量分别增加了 6.69%、8.49%、8.25%、27.97%,其中仅 OZ4 处理显著增加。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2 至图 4 同

图1 不同施肥处理对菠菜硝酸盐含量的影响

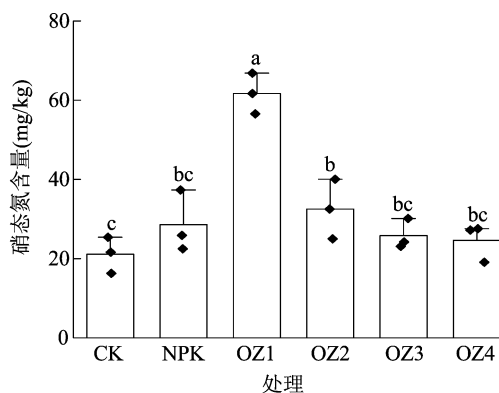


图4 不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

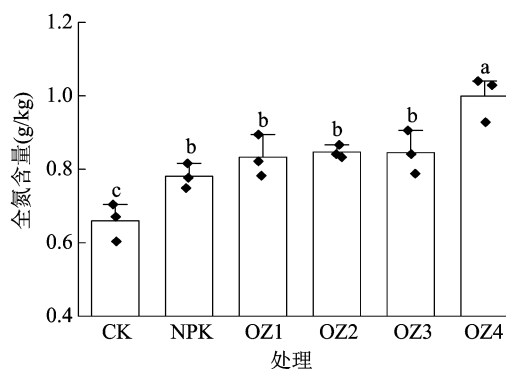


图2 不同施肥处理对土壤全氮含量的影响

有机肥替代氮肥后,铵态氮、硝态氮含量比不施肥 CK 处理均有上升(图 3、图 4)。与 NPK 相比, OZ1、OZ2 处理的铵态氮含量分别增加 15.06%、5.56%,而 OZ3 处理的铵态氮含量则是减少 3.68%。OZ1、OZ2、OZ3 处理的土壤硝态氮与铵态氮含量变化趋势相同,其中 OZ1、OZ2 处理的硝态氮含量较 NPK 分别增加 115.96%、13.82%,而 OZ3 处理的硝态氮含量则减少 9.67%。与 NPK 相比,有机肥 100% 替代氮肥的 OZ4 处理,土壤铵态氮含量增加 2.98%;而土壤硝态氮含量则降低 13.82%,但未达到显著差异。

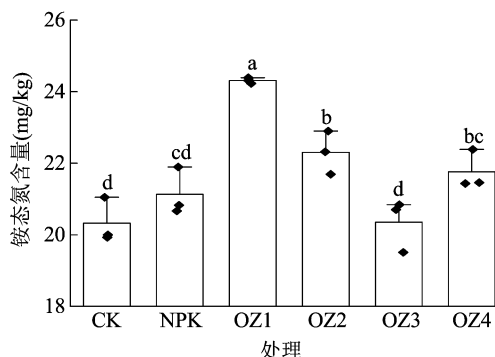


图3 不同施肥处理对土壤铵态氮含量的影响

2.4 有机肥替代氮肥对氮素利用的影响

由表 3 可知,有机肥替代氮肥的各处理,菠菜地上部、地下部的氮积累量均比 CK 高,但与 NPK 处理相比,地上部、地下部的氮积累量的变化趋势并不相同。其中, OZ1、OZ3 处理的氮积累量减少 3.98%、13.80%,而 OZ2 处理的地上部氮积累量则显著增加 20.67%。OZ1、OZ2、OZ3 处理的地下部氮积累量较 NPK 处理分别减少 13.42%、23.53%、21.93%。OZ4 处理的地上部、地下部氮积累量分别较 NPK 处理显著降低 72.37%、54.86%。

氮素收获指数和氮素生产率分别反映了作物吸收氮素后在植株中的分配比例和作物吸收氮素后形成地上部产量的能力^[19,22]。由表 3 可知,与 NPK 相比, OZ1、OZ2、OZ3 处理的氮素收获指数和生产率分别增加 1.10%、3.14%、0.76% 和 12.74%、36.57%、7.48%,其中仅 OZ2 处理的氮素生产率与 NPK 处理显著差异。OZ4 处理的氮素收获指数、生产率均低于 NPK 处理,分别显著减量 4.49%、48.95%。可见,当有机肥替代部分无机氮肥时,氮素收获指数和生产率均比 NPK 有所增加,而有机肥 100% 替代化肥氮处理中,不利于氮素收获指数和生产率的提高。

氮肥农学利用率和氮肥偏生产力可以表征作物对氮肥吸收和利用的程度^[21]。与单施化肥 NPK 处理相比, OZ2、OZ3 处理的氮肥农学利用率和偏生产力均有所升高(表 3),2 个指标的增量分别为 64.04%、7.17% 和 32.80%、3.67%;而 OZ1 处理的氮肥农学利用率、偏生产力与 NPK 处理相比,降低了 11.37%、5.82%。有机肥 100% 替代无机氮肥(OZ4)处理与 NPK 处理相比,氮肥农学利用率、偏生产力分别显著降低 77.90%、39.91%。

表 3 不同施肥处理对菠菜氮素利用率的影响

处理	地上部氮积累量 (mg)	地下部氮积累量 (mg)	氮素收获指数	土壤氮素生产率 (g/g)	氮肥农学利用率 (g/g)	氮肥偏生产力 (g/g)
CK	73.53 ± 14.95d	6.18 ± 1.37b	0.91 ± 0.01ab	10.94 ± 0.74c	—	—
NPK	306.46 ± 18.86b	25.63 ± 4.13a	0.92 ± 0.01a	28.95 ± 1.05b	7.06 ± 1.52b	13.78 ± 1.52b
OZ1	294.26 ± 15.81bc	22.19 ± 5.11a	0.93 ± 0.02a	32.64 ± 2.84b	6.25 ± 2.34b	12.98 ± 2.34b
OZ2	369.81 ± 9.55a	19.60 ± 3.26a	0.95 ± 0.03a	39.54 ± 4.18a	11.57 ± 1.57a	18.30 ± 1.57a
OZ3	264.16 ± 16.01c	20.01 ± 1.39a	0.93 ± 0.01a	31.11 ± 1.05b	7.56 ± 0.32b	14.28 ± 0.32b
OZ4	84.66 ± 4.56d	11.57 ± 2.23b	0.88 ± 0.02b	14.78 ± 2.02c	1.56 ± 0.52c	8.28 ± 0.52c

3 讨论

3.1 有机肥替代氮肥对蔬菜产量及硝酸盐含量的影响

蔬菜施肥过程中,合理的有机肥替代无机氮肥能够更好地促进蔬菜的生长发育,提高产量^[15-16]。但过高的有机肥替代化肥比例会使蔬菜的生长受到严重抑制甚至导致植株死亡^[23-25]。赵明等在等氮量有机肥替代化肥对大白菜生长影响的研究发现,不高于 60% 的替代比例能够增加产量,而 60% 以上的有机肥替代化肥比例则抑制了大白菜的生长^[24]。等氮量条件下,有机肥替代氮肥对番茄生长的影响也发现,60% 以上的替代比例对番茄产生抑制作用^[25]。本试验中有机肥 100% 替代无机氮肥不利于菠菜的生长,其植株产量和叶绿素含量均较单施化肥 NPK 处理降低,而 10%、25%、50% 的替代比例则有利于提高叶绿素含量,促进菠菜干物质积累,尤其在替代比例为 25% 时,菠菜产量和叶绿素含量最高。原因在于无机氮肥释放快,能够在前期促进植株快速生长,但后期养分供应乏力,而单纯施用有机肥,其养分释放缓慢容易造成植株前期养分供应不足从而导致植株矮小^[23,26];2 种肥料的合理配比则保证了菠菜生长过程中的养分供应,提高和维持蔬菜叶片光合性能和叶绿素含量,促进植株干物质积累,从而增加产量^[27-28]。

相关研究表明,过量施用化肥往往导致蔬菜中硝酸盐含量增加,在化肥减量的同时进行有机肥替代,能够减少蔬菜中的硝酸盐含量,进而提升蔬菜品质^[29],但过高的有机肥替代比例可能会使蔬菜的产量降低,同时存在着一定的环境污染风险^[30]。本试验中,有机肥替代无机氮肥的各处理中,菠菜硝酸盐含量均小于 3 000 mg/kg,符合 GB 18406.1—2001《农产品安全质量无公害蔬菜安全》要求。当

有机替代的比例超过 50% 时,菠菜中硝酸盐含量较 100% 化肥处理(NPK)显著降低。蔬菜体内硝酸盐的累积是在氮素供应过量的情况下的奢侈吸收,此时蔬菜会快速吸收硝态氮,开始累积硝酸盐^[31]。因此,有机肥代替化肥施用可以作为降低蔬菜植株内硝酸盐含量的有效措施^[32]。

3.2 有机肥替代氮肥对土壤氮素含量的影响

研究表明,有机肥可以活化土壤养分、改良土壤理化性状,有机肥和化肥配施后,土壤全氮、铵态氮、硝态氮含量高于不施肥或单施化肥处理^[33-35]。但也有研究表明,有机肥、无机肥配施在作物收获时,土壤硝态氮含量虽会高于不施肥处理,但会低于单施化肥处理^[36]。本试验中,10%、25%、50%、100% 的有机肥替代无机氮肥处理与不施化肥(CK)和单施化肥(NPK)处理相比,土壤全氮含量均会提升,原因在于有机肥的施用不仅会大量增加土壤有机质含量,还会提升促进养分转化的微生物和酶的活性,从而提高土壤全氮含量^[37-38]。当有机替代的比例为 10%、25% 时,土壤的铵态氮、硝态氮含量均比单施化肥处理升高;当有机替代比例升高时,二者的变化并不相同,原因在于铵态氮、硝态氮在土壤中的含量与作物生长条件、灌溉方式以及土壤性质等有关^[39],另外与有机肥替代部分无机肥增加了土壤团聚化程度,从而降低有效态氮素在土壤中的累积有关^[40]。因此,本试验中关于有机肥替代氮肥引起土壤中铵态氮、硝态氮含量的变化机制有待进一步研究阐明。

3.3 有机肥替代氮肥对氮素利用效率的影响

我国作物生产普遍存在氮肥利用率低的问题,而降低氮肥的损失、优化土壤氮素供应和作物氮素吸收的协同关系是提升氮肥利用率的重点^[22]。研究表明,在等氮条件下,适量比例的有机替代可以显著提高作物氮肥利用率。赵易艺等在等氮条件

下种植小白菜,发现化肥处理的氮肥利用率仅为 16.78%,而有机替代处理的氮肥利用率高达 56.10%^[41]。罗佳等研究了 3 种有机肥在等氮条件下替代无机肥的氮肥利用率,发现其农学利用效率和氮肥偏生产力均显著高于单施化肥处理^[42]。本试验发现,与单施化肥(NPK)处理相比,25%、50%有机替代处理的氮肥农学利用率和偏生产力均有所升高,而 10%、100%有机替代处理的氮肥农学利用率、偏生产力有所降低。因此只有在适当比例的有机、无机肥配施条件下,才有利于促进土壤微生物将有机肥中的氮素逐渐转化为速效氮供作物吸收利用,保证作物生长过程中的氮素的供应需求和利用效率^[43-44]。

氮素收获指数和氮素生产率同样可以表征植物对氮素的利用效率。有机肥替代化肥进行生产时,氮素收获指数和生产率高于不施肥或单施化肥处理^[45],但 100%比例的有机肥替代氮肥处理则是会降低氮素收获指数和生产率^[22]。本试验表明,与 CK、NPK 处理相比,25%的有机肥替代氮肥时的氮素收获指数和生产率最高,而且地上部氮素积累量较高的处理其氮素收获指数和生产率也较高。究其原因,化肥能够在蔬菜生长前期刺激土壤微生物,促进其加快分解有机质,从而给作物带来更多有效的养分促进生长^[46]。而有机肥则会在蔬菜生长前期促进土壤微生物对氮素的固持,在土壤中保存更多的氮素以供应蔬菜生长后期的吸收和利用^[47]。即适量比例的有机替代施肥方式更能匹配蔬菜在不同生长阶段对养分的需求。另外,由于本试验只是一茬的研究结果,后续还须通过多茬的试验结果来验证合理的有机肥替代氮肥比例,以便更有效提高氮素收获指数和氮素生产率。

4 结论

菠菜施肥中适量比例的有机肥替代氮肥既能提高产量、降低硝酸盐含量,又可提升土壤氮素水平和氮肥利用率。与单施化肥相比,在等氮量的条件下,有机肥替代氮肥比例为 25%时,菠菜产量和叶绿素含量最高;替代比例为 50%时菠菜硝酸盐含量显著降低;有机肥 100%替代氮肥会使菠菜产量降低;各有机肥替代氮肥处理均可以提升土壤全氮含量,当有机肥替代氮肥比例为 10%、25%时均可以使土壤中铵态氮、硝态氮含量比单施化肥处理增加。有机肥替代氮肥为 25%时,土壤氮素生产率、

氮肥农学利用率、氮肥偏生产力显著高于单施化肥的处理。因此,从产量和氮肥利用率等方面考虑,25%的有机肥替代氮肥比例适合在生产上推荐施用,但本结果为盆栽试验,在田间实践推广时有待大田试验的进一步验证。

参考文献:

- [1] 万 炜,师纪博,刘 忠,等. 栖霞市苹果园氮磷养分平衡及环境风险评价[J]. 农业工程学报,2020,36(4):211-219.
- [2] 李小萌,陈效民,曲成闯,等. 生物有机肥与减量配施化肥对连作黄瓜养分利用率及产量的影响[J]. 水土保持学报,2020,34(2):309-317.
- [3] Huang B, Shi X Z, Yu D S, et al. Environmental assessment of small-scale vegetable farming systems in peri-urban areas of the Yangtze River Delta Region, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 112(4):391-402.
- [4] 闫 湘,金继运,梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. 土壤,2017,49(6):1067-1077.
- [5] 魏文良,刘 路,仇恒浩. 有机无机肥配施对我国主要粮食作物产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(8):1384-1394.
- [6] 廖义善,卓慕宁,李定强,等. 适当化肥配施有机肥减少稻田氮磷损失及提高产量[J]. 农业工程学报,2013,29(增刊1):210-217.
- [7] 蒋倩红,陆志峰,赵海燕,等. 长江中下游冬油菜产区有机无机肥配施下减氮增效潜力分析[J]. 中国农业科学,2020,53(14):2907-2918.
- [8] 何传龙,马友华,于红梅,等. 减量施肥对保护地土壤养分淋失及番茄产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(4):846-851.
- [9] Shen W S, Lin X G, Shi W M, et al. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land[J]. Plant and Soil, 2010, 337:137-150.
- [10] 李孝良,胡立涛,王 泓,等. 化肥减量配施有机肥对皖北夏玉米养分吸收及氮素利用效率的影响[J]. 南京农业大学学报,2019,42(1):118-123.
- [11] 郭 标. 小麦减施化肥增施有机肥效果试验[J]. 安徽农学通报,2018,24(11):50,59.
- [12] Zhao J, Xu J X, Wang J W, et al. Impacts of human lysozyme transgene on the microflora of pig feces and the surrounding soil [J]. Journal of Biotechnology, 2012, 161(4):437-444.
- [13] 陈 伟,周 波,束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3850-3856.
- [14] 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.
- [15] 宁建凤,艾绍英,李盟军,等. 化肥减量配合有机替代对赤红壤常年菜地蔬菜生长及土壤氮平衡的影响[J]. 热带作物学报,2019,40(5):1008-1014.

- [16] 徐大兵,周剑雄,邱正明,等. 氮肥替代和减施对高山露地辣椒养分吸收和产量与营养品质的影响[J]. 北方园艺,2019(21): 1-6.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:31-33,46-49,56-58,74-76,81-83,101-102,106-107.
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:123-124,134-137,184-185,246-248.
- [19] 林洪鑫,袁展汽,肖运萍,等. 不同株型木薯品种干物质生产和氮素累积及利用特征比较[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(7):1328-1338.
- [20] 张登晓,周惠民,潘根兴,等. 城市园林废弃物生物质炭对小白菜生长、硝酸盐含量及氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(6):1569-1576.
- [21] 王 静,王允青,张风芝,等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原水稻产量、氮肥利用率及稻田氮素的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(5):211-216.
- [22] 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.
- [23] 张红梅,金海军,丁小涛,等. 有机肥无机肥配施对温室黄瓜生长、产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):247-253.
- [24] 赵 明,蔡 葵,王文娇,等. 有机无机肥配施对大白菜产量、品质及重金属含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(1):45-48.
- [25] 刘中良,高俊杰,谷端银,等. 有机肥对设施番茄周年栽培土壤环境和产量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(3):929-934.
- [26] 李明悦,朱静华,廉晓娟,等. 有机无机氮肥配施对芹菜产量、品质及土壤硝酸盐含量的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(13):178-181.
- [27] 杨芳芳,李彩凤,刘 丹,等. 有机肥对混合盐碱胁迫甜菜光合特性及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(4):74-82.
- [28] 黄兴学,汪爱华,邓耀华,等. 有机肥对低温弱光下小白菜光合作用的影响[J]. 长江蔬菜,2016(6):71-73.
- [29] 王 成,吕 剑,李 静,等. 不同生物有机肥用量对韭菜产量、品质及养分利用的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(6):204-211.
- [30] 孙玉桃,黄凤球,杨 茜,等. 湖南省商品有机肥料质量与重金属污染程度分析[J]. 中国土壤与肥料,2020(3):176-181.
- [31] 熊国华,林咸永,章永松,等. 环境因素对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J]. 土壤通报,2004,35(3):362-365.
- [32] 王煌平,张 青,翁伯琦,等. 不同肥源对萝卜硝酸盐累积分布和同化的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊2):148-154.
- [33] 张瑞平,苟小梅,张 毅,等. 生物有机肥与化肥配施对植烟土壤养分和真菌群落特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(8):85-92.
- [34] Wang L, Li J, Yang F, et al. Application of bioorganic fertilizer significantly increased apple yields and shaped bacterial community structure in orchard soil[J]. Microbial Ecology, 2017, 73:404-416.
- [35] 曲成闯,陈效民,韩召强,等. 施用生物有机肥对黄瓜不同生育期土壤肥力特征及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(6):279-284.
- [36] 李银坤,郝卫平,龚道枝,等. 减氮配施有机肥对夏玉米、冬小麦土壤硝态氮及氮肥利用的影响[J]. 土壤通报,2019,50(2):348-354.
- [37] 宁川川,王建武,蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报,2016,25(1):175-181.
- [38] Lazcano C, Gómez - Brandón M, Revilla P, 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.
- [39] 熊淑萍,姬兴杰,李春明,等. 不同肥料处理对土壤铵态氮时空变化影响的研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(3):978-983.
- [40] 赵 斌,张瑞芳,李向文,等. 不同施肥处理对新成片麻岩土壤谷子生长及土层硝态氮的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(24):142-147.
- [41] 赵易艺,张玉平,刘 强,等. 有机肥和生物炭对旱地土壤养分累积利用及小白菜生产的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(14):119-125.
- [42] 罗 佳,蒋小芳,孟 琳,等. 不同堆肥原料的有机无机复合肥对油菜生长及土壤供氮特性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(1):97-106.
- [43] 张新建,宁晓光,郑桂亮,等. 有机肥替代化肥对土壤肥力及番茄产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(14):59-63.
- [44] 谭 骏,黄 河,汤 薇,等. 蚯蚓粪有机肥对土壤微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(20):228-233.
- [45] 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.
- [46] Gong W, Yan X Y, Wang J Y, et al. Long - term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat - maize cropping system in northern China[J]. Geoderma, 2009, 149(3/4):318-324.
- [47] Montemurro F. Are organic N fertilizing strategies able to improve lettuce yield, use of nitrogen and N status? [J]. Journal of Plant Nutrition, 2010, 33(12/13/14):1980-1997.