

蔡云彤,黑若楠,刘新红,等. 高氮有机肥部分替代化肥对垛田香葱生产和环境的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(5):179-183.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.05.024

高氮有机肥部分替代化肥对垛田香葱生产和环境的影响

蔡云彤²,黑若楠³,刘新红³,马艳^{1,3},罗佳^{1,3}

(1. 南京农业大学资源与环境学院,江苏南京 210095; 2. 江苏省兴化市现代农业发展服务中心,江苏兴化 225775, 3. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所,江苏南京 210014)

摘要:兴化垛田是具有江苏特色的农耕文化遗产,过量施用化肥限制了当地农业可持续发展。采用高氮有机肥部分替代化肥解决垛田化肥过量施用引起的环境污染问题,田间试验结果表明,香葱产量和生长指标均随着有机肥替代比例的增加呈上升趋势,以每亩破万斤为栽培目标,高氮有机肥替代化肥比例仍有较大的提升空间。高氮有机肥 45% 替代化肥(45% JFN)可显著增加土壤有机质、有效磷、速效钾的含量并明显降低土壤中硝态氮含量。同时,随着高氮有机肥替代比例的提高可以增加化学氮肥利用率,但是总氮肥利用率 35% JFN 处理最高。高氮有机肥部分替代化肥降低了亚表层土壤硝态氮含量以及田块径流水中总氮含量,减少引起面源污染的风险。为了实现兴化垛田香葱绿色生产,应采用高氮有机肥来部分替代化肥的措施,高氮有机肥替代化肥比例宜大于 35%。本研究明确了兴化垛田香葱高氮有机肥合理替代化肥比例,提高香葱产量,提升土壤肥力,减少面源污染风险,对促进兴化垛田香葱产业绿色发展具有重要的指导意义。

关键词:垛田;香葱;高氮有机肥;有机肥替代化肥

中图分类号:S633.906 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)05-0179-04

兴化垛田是江苏里下河地区特有的农耕文化遗产,是华夏先民在沼泽地基础上建立的四周环水的小块良田。兴化香葱是兴化特色地方品种,有着悠久的种植历史,其香味浓郁,品质优良,含有特殊的丙烯硫化物,具有增进食欲,预防心血管疾病的保健功效,是保鲜、脱水加工的理想原料和食品工业不可缺少的调味品^[1]。近年来,垛田香葱种植成为当地农户脱贫致富的一个重要手段,大量化肥投入带来了当地香葱特色产业的高速发展,但是长期大量施用化肥及施肥的不均衡不仅引发了土壤酸化等问题,同时垛田特殊环境极易造成面源污染,危急兴化垛田生态环境。

有机肥替代化肥正成为有效解决化肥过量施

用问题,改良土壤环境,从而使作物量质双提升的重要措施之一^[2]。近年来随着有机肥投入逐渐增加,生态农业、绿色农业等高附加值农业产业取得较大发展。兴化畜禽养殖业比较发达,每年产生大量的畜禽粪便,其中鸡粪的量最大。鸡粪作为一种含氮量较高的有机肥,受到了当地农户的欢迎。然而,由于施用不当极易引起土壤盐渍化,往往不能达到很好的增产效果,同时由于垛田环绕河湖,还非常容易引发面源污染,极大制约了该类有机肥的推广使用。针对上述问题,亟需构建适合兴化垛田的施肥模式,推动兴化垛田特色的香葱产业可持续发展。

有机肥部分替代化肥可以有效缓解有机肥过量施用可能带来的土壤障碍和面源污染问题^[3]。近年来,兴化市在国家“绿色种养循环农业试点项目”的支持下,大力推广“粪肥还田+配方肥”技术模式,不仅要合理用好有机肥,而且要实现化肥减量增效。因此,探索有机肥合理替代化肥比例,优化垛田香葱施肥模式,对推动化肥减量和有机肥替代技术在兴化垛田的推广应用,提高作物产量,提升土壤肥力,减少面源环境污染,促进兴化垛田香葱产业绿色发展具有重要的指导意义。

收稿日期:2022-11-12

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD1700803-01-05);江苏省现代农业(蔬菜)产业技术体系建设专项(编号:JATS[2022]352)。

作者简介:蔡云彤(1971—),男,江苏省兴化人,高级农艺师,主要从事土壤改良与耕地质量提升技术推广。E-mail: xheyt2008@163.com。

通信作者:罗佳,博士,研究员,主要从事农业废弃物资源化利用与耕地质量提升技术研究。E-mail:luo_jia_428@163.com。

1 材料与方 法

1.1 试验 区概 况

试验地点在兴化市竹弘镇垛田香葱种植区域,土壤质地为壤质黏土。土壤 pH 值为 7.2,总氮含量 1.8 g/kg,碱解氮含量 148.4 mg/kg,有效磷含量 26.9 mg/kg,速效钾含量 18.5 mg/kg。

1.2 试验 设计

试验设 6 个处理:(1)对照(CK),不施用任何肥料;(2)全量化肥处理(CF),农户常规施肥,单季施用复合肥(N、P₂O₅、K₂O 含量均为 15%)600 kg/hm²,尿素 1 800 kg/hm²;(3)高氮有机肥氮替代 15% 化肥氮(15% JFN),复合肥 510 kg/hm²,尿素 1 530 kg/hm²,高氮有机肥 22 t/hm²;(4)高氮有机肥氮替代 25% 化肥氮(25% JFN),复合肥 450 kg/hm²,尿素 1 350 kg/hm²,高氮有机肥 29 t/hm²;(5)高氮有机肥氮替代 35% 化肥氮(35% JFN),复合肥 390 kg/hm²,尿素 1 170 kg/hm²,高氮有机肥 41 t/hm²;(6)高氮有机肥氮替代 45% 化肥氮(45% JFN),复合肥 330 kg/hm²,尿素 990 kg/hm²,高

$$\text{化肥氮养分利用率} = \frac{\text{施肥区地上部分氮吸收量} - \text{无肥区地上部分氮磷钾吸收量}}{\text{化肥氮总施用量}} \times 100\%。$$

化肥有机肥总养分利用率按照以下公式计算:

$$\text{总氮养分利用率} = \frac{\text{施肥区地上部分氮吸收量} - \text{无肥区地上部分氮磷钾吸收量}}{\text{化肥和有机肥氮总施用量}} \times 100\%。$$

1.4 数据分析和统计

采用 Excel 2019 和 SPSS 18.0 软件进行数据统计与分析,使用最小显著差异法(Least significant difference, LSD)检验进行多重比较($\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.01$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对香葱产量与生产情况的影响

从生长状况(表 1)来看,高氮有机肥不同比例替代化肥处理的株高(收获期)、单株质量(分蘖末期到收获期)和收获净产量均随着替代比例的增加而呈上升趋势。返青期不同处理株高无显著性差异,分蘖末期和收获期 35% JFN 和 45% JFN 处理显著高于 15% JFN 处理和 CF、CK 处理;45% JFN 处理收获香葱净产量最高,并显著高于 15% JFN 处理和 CF、CK 处理($P < 0.05$),增幅分别为 23%、33% 和 56%;15% JFN、25% JFN、35% JFN 相比 CF 处理增产幅度分别为 1.5%、13% 和 32%,替代比例增加后

氮有机肥 52 t/hm²。复合肥和有机肥作为基肥一次性施入,尿素作为追肥分 6 次施入。

供试香葱为兴化香葱,具有较强的分生能力,主要用于脱水蔬菜的生产。所用有机肥采自兴化市土亦乐有机肥厂,养分含量为氮 2.91%,磷 0.45%,钾 1.57%。

1.3 样品采集与测定方法

试验时间为 2020 年 10 月至 2021 年 5 月,期间每天进行日常管理和环境条件监测,香葱成熟时开始采摘和样品测定。土壤样品采集于移栽前和香葱收获后,分别采集 0~20 cm 的表层土及 20~40 cm 的亚表层土。植株样品和生长指标在返青期、分蘖末期和收获期各测定 1 次。土壤径流水收集于 2020 年 11 月 25 日。

土壤理化指标测定方法参照土壤农化分析^[4],植株生长指标株高和分蘖数分别采用刻度尺测定和人工计数获得,植株养分氮含量采用自动定氮仪测定、磷含量采用钼蓝比色法测定、钾含量采用火焰光度计测定。

化肥氮养分利用率按照以下公式计算:

增产效果明显。相关性分析结果表明高氮有机肥替代比例与香葱净产量呈正相关($r^2 = 0.953 2$)。

2.2 不同施肥处理对土壤理化性状的影响

采用合理的施肥技术有助于提升土壤肥力,减缓土壤退化。本研究采用高氮有机肥部分替代化肥进行土壤培肥,结果(表 2)发现,不同施肥处理均增加了土壤硝态氮、有效磷、速效钾及有机质含量,铵态氮未表现出明显差异。随着替代比例的增加,土壤硝态氮含量从 77.1 mg/kg(15% JFN)下降到 27.9 mg/kg(45% JFN),下降幅度 31%~75%,均显著低于 CF 处理的 111.3 mg/kg。土壤有效磷、有效钾和土壤有机质分别从 25.6 mg/kg、109.0 mg/kg、24.3 g/kg 增加到 54.3 mg/kg、172.0 mg/kg、34.3 g/kg,相比 CF 处理增幅 41% 至 198%、19%~89% 以及 4%~32%;45% JFN 处理土壤有效磷、速效钾和有机质均显著高于其他处理。

2.3 不同施肥处理对氮肥利用率影响

依据收获时商品香葱产量计算各施肥处理的

表1 不同处理香葱产量及生长指标

处理	株高 (cm)			单株质量 (g/株)			有效分蘖数 (个)	净产量 (kg/667 m ²)
	返青期	分蘖末期	收获期	返青期	分蘖末期	收获期		
CK	30.15a	38.87b	58.33c	9b	72c	381b	12.00a	3 623c
CF	31.26a	39.31b	60.75bc	11a	92b	409b	11.25ab	5 478b
15% JFN	32.75a	42.14b	60.58bc	10b	95b	392b	9.25ab	5 727b
25% JFN	31.57a	40.61b	64.42ab	10a	98b	480a	8.67b	6 209ab
35% JFN	31.00a	47.08a	67.71a	11a	141a	528a	9.00ab	7 233ab
45% JFN	34.79a	46.98a	66.67a	14a	151a	527a	9.50ab	7 545a

表2 不同处理土壤主要理化指标

处理	pH 值	电导率 (μS/cm)	铵态氮含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)
CK	7.30a	73.8d	6.94a	9.5d	14.9c	90.8b	24.0b
CF	6.83b	166.0a	8.75a	111.3a	18.2c	91.3b	25.9b
15% JFN	6.85b	129.0b	8.02a	77.1b	25.6b	110.0b	24.3b
25% JFN	6.89b	128.0b	8.78a	73.6b	38.0b	109.0b	24.5b
35% JFN	7.19a	92.0c	6.67a	38.2c	39.0ab	133.0a	26.8b
45% JFN	7.28a	86.4cd	6.30a	27.9c	54.3a	172.0a	34.3a

养分利用率,结果如图1所示,有机无机总投入氮肥的养分利用率介于6.81%~18.22%之间,4种替代比例处理中,总氮养分利用率最高为35% JFN处理(18.22%),最低为15% JFN处理(11.12%);化肥氮养分利用率介于6.81%~29.00%之间,4种有机肥处理化肥氮养分利用率最高为45% JFN处理(29.00%),仅比35% JFN处理高出0.97个百分点,最低为15% JFN处理(13.08%)。各品种有机肥配施处理总养分氮利用率和化肥氮养分利用率均大于单施化肥处理(6.81%)。

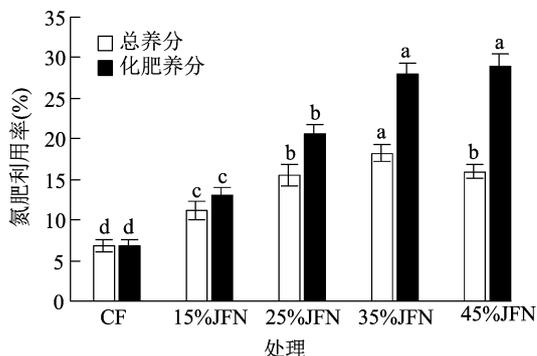


图1 不同施肥处理氮肥利用率

2.4 土壤面源污染风险评价

通过监测亚表层(20~40 cm)土壤中硝酸盐和磷酸盐含量及地表径流水中总氮含量来评估不同处理可能存在的面源污染风险,结果如表3所示。

亚表层土壤中 NO₃⁻-N 含量随着有机肥氮替代化肥氮比例的增加呈逐渐降低的趋势;35% JFN 处理和45% JFN 处理显著低于15% JFN 处理和25% JFN 处理,相比化肥平均降低57%。地表径流水中 TN 浓度随有机肥替代化肥比例的增加而逐渐降低,不同有机肥氮替代化肥氮比例相对 CF 处理地表径流水中 TN 浓度降幅为19%~48%。亚表层土壤有效磷含量随着有机肥氮替代化肥氮比例增加而小幅增加,但是未达到显著性差异(35% JFN 除外)。15%~45% 有机肥氮替代化肥氮处理,随着替代比例的增加,亚表层土壤中硝态氮和有效磷含量以及地表径流水中总氮浓度均逐渐下降,表明本试验所用高氮有机肥替代化肥比例增加能够有效降低面源污染的风险。

3 讨论

兴化垛田特殊的环境对于现代农业发展提出了特殊的要求,在发展当地特色农业的基础上如何减少农业生产对环境污染成为迫切需要解决的问题。合理的有机肥部分替代化肥不仅有利于减缓因化肥施用造成的土壤盐渍化、酸化等障碍问题,同时也可以减少径流或淋溶造成的面源污染问题^[5-7]。本研究采用高氮有机肥部分替代化肥解决垛田化肥过量施用问题,结果表明香葱产量和生长

表 3 不同处理对土壤亚表层硝态氮、有效磷及地表径流水总氮含量的影响

处理	亚表层土壤(20~40 cm)		径流水
	NO ₃ ⁻ -N 含量 (mg/kg)	PO ₄ ³⁻ -P 含量 (mg/kg)	TN 含量 (mg/L)
CK	10.5c	5.31b	93.1c
CF	61.3a	6.04b	215.0a
15% JFN	57.6a	5.41b	174.0a
25% JFN	48.3a	6.85ab	175.0a
35% JFN	25.9b	8.37a	162.0a
45% JFN	26.5b	7.02ab	112.0b

指标均随着有机肥替代化肥比例的增加呈上升趋势,以每亩破万斤为栽培目标,高氮有机肥替代化肥的比例仍有较大的增长空间。李杰等研究发现,生物有机肥替代化肥比例超过 20% 时花椰菜产量会降低,替代比例在 20% 时候则不会引起花椰菜单产的降低^[8]。潘亚杰等研究发现,有机肥氮替代化肥氮比例不超过 25% 时有利于菠菜产量的维持和氮肥利用效率提高^[9]。胡月华研究发现当有机肥 40% 替代化肥时马铃薯的产量和品质均高于有机肥 20% 替代化肥^[10]。因此,需要根据作物品种、产量和田间试验结果来合理确定有机肥的种类及替代化肥的比例。

本研究结果表明,有机肥部分替代化肥降低土壤硝态氮含量并增加土壤有效磷、速效钾以及土壤有机质的含量,进而可缓解土壤酸化和盐渍化的程度。有研究发现^[11-12],有机肥与化肥配施可以提高农田的基础地力。土壤有机质和碱解氮是影响土壤基础地力的主要因素,土壤基础地力的提升会提高作物产量的可持续性,作物产量和增产潜力也会随之增加^[13-14]。同时,有机肥替代化肥可显著提高土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量,这可能是有机肥改善了土壤微生物群落结构进而提高土壤有机质、改善土壤团粒结构,从而充分保证土壤养分的供应^[15]。有机肥部分替代化肥可以提高土壤有机质含量,进而增加土壤微生物多样性和改善土壤微生物群落结构,而缓解土壤障碍,提升土壤肥力水平^[16-17]。

农业生产中频繁大量施用化肥,极易遇到雨水形成地表径流使氮、磷等营养元素大量流失,引起河道等水体富营养化,造成化肥对地表水的面源污染^[19]。同时,化肥过量施用也会造成淋溶污染地下水,有研究表明,长期大量施用化肥的地区地下水含氮量逐年增高,极易导致饮用水中硝态氮含量超

标^[20]。本研究采用高氮有机肥进行有机肥部分替代措施,降低了亚表层土壤硝态氮含量以及田块径流水中总氮含量,能够有效防控面源污染的风险。综上所述,为了实现垛田香葱绿色生产,应采用有机肥部分替代化肥的施肥方式,高氮有机肥替代化肥比例宜大于 35%。

参考文献:

- [1] 张芳敏,严继勇,徐东旭,等. 里下河地区无公害香葱生产技术和产业化保障体系的建立初探[J]. 江苏农业科学, 2009(5): 185-186.
- [2] Zhong W H, Gu T, Wang W, et al. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity[J]. Plant and Soil, 2010, 326: 511-522.
- [3] 晋迎兵. 基于炭基有机肥替代和生态沟拦截的稻田氮磷流失控制技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2021.
- [4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 1999.
- [5] Yao Y, Dai Q, Gao R, et al. Effects of rainfall intensity on runoff and nutrient loss of gently sloping farmland in a karst area of SW China[J]. PLoS One, 2021, 16(3): e0246505.
- [6] Zhu Q, Vries W D, Liu X, et al. Enhanced acidification in Chinese croplands as derived from element budgets in the period 1980-2010[J]. Science of the Total Environment, 2018, 618: 1497-1505.
- [7] 靳玉婷,刘运峰,胡宏祥,等. 持续性秸秆还田配施化肥对油菜—水稻轮作周年氮磷径流损失的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(9): 1937-1951.
- [8] 李杰,贾豪语,颀建明,等. 生物肥部分替代化肥对花椰菜产量、品质、光合特性及肥料利用率的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(1): 47-55.
- [9] 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.
- [10] 胡月华. 化肥减量与生物有机肥配施对土壤质量变化及马铃薯产量与品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 204-210.
- [11] 鲁艳红,廖育林,周兴,等. 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 597-606.
- [12] 贡付飞,查燕,武雪萍,等. 长期不同施肥措施下潮土冬小麦农田基础地力演变分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 120-129.
- [13] 王迎男,高娃,郜翻身,等. 内蒙古马铃薯主产区基础地力及增产潜力研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(8): 1345-1353.
- [14] 查燕,武雪萍,张会民,等. 长期有机无机配施黑土土壤有机碳对农田基础地力提升的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4649-4659.
- [15] 张勇,徐智,高丽芳,等. 有机类肥料部分替代化肥影响新疆红壤生菜地产量因素的研究[J]. 中国农学通报, 2022, 38(5): 79-85.

覃宝利,王信海,王宣朋,等. 不同养殖参数对克氏原螯虾生长及生理生化的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(5):183-190.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.05.025

不同养殖参数对克氏原螯虾生长及生理生化的影响

覃宝利^{1,2}, 王信海¹, 王宣朋¹, 姜爱兰¹, 叶建勇¹, 吴春¹, 单金峰¹

(1. 江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏宿迁 223800; 2. 江苏里下河地区农业科学研究所,江苏扬州 225007)

摘要:为获知不同养殖参数放养密度、水草覆盖率及饲料蛋白水平对克氏原螯虾生长及生理生化的影响,采用 $L_9(3^4)$ 正交设计探讨其在不同放养密度(8、12、16尾/ m^2)、水草覆盖率(20%、40%和60%)及饲料蛋白水平(28%、30%和32%)组合条件下的生长、血清生化指标含量及非特异性免疫酶活性的变化。结果表明,克氏原螯虾生长性能与放养密度呈负相关。放养密度为16尾/ m^2 时,虾末体质量和增长率显著低于低密度处理组(8、12尾/ m^2)($P < 0.05$)。成活率在最大密度组显著降低($P < 0.05$),2个低密度组无显著差异($P > 0.05$)。水草覆盖率为40%时克氏原螯虾体质量增长率、特定生长率和成活率显著高于20%和60%组($P < 0.05$)。40%水草覆盖率处理下克氏原螯虾血清白蛋白(ALB)含量均在16尾/ m^2 密度组显著下降,其他血清生化指标含量均无显著差异。20%、60%水草覆盖率处理下白蛋白(ALB)含量变化趋势与40%水草覆盖率处理相同,但甘油三酯(TG)含量和谷丙转氨酶(ALT)活性均在16尾/ m^2 密度组显著上升($P < 0.05$)。同一水草覆盖率处理下,最大密度组虾体血清超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和碱性磷酸酶(AKP)活性最高,显著高于2个低密度组($P < 0.05$),溶菌酶(LZM)和酸性磷酸酶(ACP)活性最低,显著低于2个低密度组($P > 0.05$)。饲料蛋白水平对克氏原螯虾生长性能、成活率、血清生化指标含量和非特异性免疫酶活性均无明显相关性。研究提示,放养密度过高可显著抑制克氏原螯虾生长、成活率及生理生化指标,适宜的水草覆盖率可显著提高克氏原螯虾生长性能和成活率。综合评价筛选出克氏原螯虾围网最佳组合养殖方案为水草覆盖率为40%,放养密度为8尾/ m^2 或12尾/ m^2 ,饲料蛋白水平为28%。

关键词:克氏原螯虾;放养密度;水草覆盖率;饲料蛋白水平;生长性能;血清生化;非特异性免疫酶

中图分类号:S966.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)05-0183-08

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*),俗称淡水小龙虾,属节肢动物门甲壳纲十足目螯虾亚目螯虾科原螯虾属^[1]。因其风味鲜美、营养价值高、商业效益高而在我国内陆被广泛养殖。2019年全国克氏

原螯虾养殖产量达208.96万t,养殖总面积达128.6万 hm^2 ^[2]。但随着养殖规模逐年扩大,养殖问题日益凸显,如各种病害疫情频发、规格提升困难及生长速度慢等,使龙虾养殖业效益大大降低,严重制约其养殖业健康稳定持续发展。这与市场有关,更与养殖技术有关,养殖技术涉及的问题很多^[3]。在实际生产中,养殖者为追求更大产量,往往进行高密度养殖。而甲壳类动物的高密度养殖通常会加剧资源竞争,如生存空间、隐蔽物、食物^[4]、同类相残^[5];拥挤胁迫,如食欲低下、生理状态差、抗病能力弱^[6],导致成活率、规格、生长速度

收稿日期:2022-04-02

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(19)3018];江苏省宿迁市自主创新项目(编号:SQCX202108)。

作者简介:覃宝利(1986—),女,河南鹤壁人,硕士,助理研究员,主要从事水产养殖方面的研究。E-mail:906963793@qq.com。

通信作者:王信海,硕士,副研究员,主要从事稻田综合种养方面的研究。E-mail:20141602@jaas.ac.cn。

[16] Thiele-Bruhn S, Bloem J, Vries F, et al. Linking soil biodiversity and agricultural soil management [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2012, 4(5): 523-528.

[17] Tian J, Lou Y, Gao Y, et al. Response of soil organic matter fractions and composition of microbial community to long-term organic and mineral fertilization [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2017, 53(5): 523-532.

[18] Tong X, Xu M, Wang X, et al. Long-term fertilization effects on

organic carbon fractions in a red soil of China [J]. *Catena*, 2014, 113: 251-259.

[19] Gao R, Dai Q, Gan Y, et al. The production processes and characteristics of nitrogen pollution in bare sloping farmland in a karst region [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(26): 26900-26911.

[20] 王强,姜丽娜,符建荣,等. 化肥用量和有机无机复混肥对浙江海涂区氮磷损失的影响 [J]. *水土保持学报*, 2009, 23(6): 75-78.