

陈忠平,龙昌智,朱树伟,等.油菜秆还田和氮肥种类对水稻生长过程中土壤养分的影响[J].江苏农业科学,2021,49(21):73-81.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.21.011

油菜秆还田和氮肥种类对水稻生长过程中土壤养分的影响

陈忠平¹,龙昌智²,朱树伟²,才 硕³,时 红³,杨文亭²

(1. 江西省农业技术推广中心,江西南昌 330046; 2. 江西农业大学农学院,江西南昌 330045;

3. 江西省灌溉试验中心站,江西南昌 330201)

摘要:为探讨油菜秆还田和施用不同种类氮肥对水稻生育前期土壤养分的影响,设置油菜秸秆还田(还田、不还田)和氮肥种类(尿素、碳酸氢铵、硫酸铵)两因素的盆栽试验,测定油菜秆翻压后 15、29、43、57、71 d 时水稻生长过程中的土壤养分指标。结果表明,相比施用尿素,碳酸氢铵、硫酸铵处理下的土壤 pH 值在油菜秆翻压 15 d 时(水稻移栽日)明显降低。施用硫酸铵有利于油菜秆翻压 15~43 d 时保持较高的土壤全氮、碱解氮、铵态氮含量,但降低了土壤硝态氮含量。相比不添加油菜秆,添加油菜秆有利于提高土壤有机质和速效钾含量,还有利于保持 57、71 d 时硫酸铵处理下的土壤全氮和硝态氮含量。综合来看,添加油菜秆可以改善土壤肥力;与施用尿素、碳酸氢铵相比,施用硫酸铵更有利于维持土壤氮素养分含量。

关键词:秸秆还田;氮肥种类;水稻;土壤养分;油菜秸秆

中图分类号: S181;S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)21-0073-08

油菜(*Brassica campestris* L.)是我国主要的油料作物之一,在四川、湖北、湖南、安徽、江西、江苏等长江流域省份大量种植。该地区是我国南方水稻主产区,稻油轮作是主要的种植模式之一^[1]。2019 年我国油菜种植面积达到 658.3 万 hm²,油菜籽总产量达到 1 348.5 万 t^[2],按照文献报道的油菜秆与油菜籽比例平均值为 2.6^[3],2019 年油菜秆年产量达到 3 506.1 万 t,资源量巨大,如果不加以利用可能造成巨大的资源浪费,秸秆焚烧还会对环境造成污染等^[4],将这些秸秆直接或间接归还到土壤中是有效利用途径之一^[5-6],油菜秆进行农业循环生产,充分利用其中的养分资源,不仅能够提高下茬作物产量和品质^[7],培肥地力^[8-9],还可以减缓温室效应^[5,10],对保护农田生态环境具有重要意义。

近年来,国内外科学家在秸秆还田对提高土壤

肥力及作物产量等方面做了大量研究^[6,11-12],秸秆降解受土壤养分^[13]、温度^[14]、湿度^[15]、微生物^[16-17]、氮肥种类^[18-19]等多种因素影响。我国南方油菜秆资源量巨大,秸秆还田可使土壤中氮、磷、钾得到有效补充^[12],以维持土壤氮、磷、钾平衡。秸秆还田在适宜氮量^[20]和氮肥类型^[19]下可以增加作物氮素利用和提高土壤肥力、秸秆腐解率,从而减少氮肥的浪费和提高资源利用率。同时,氮肥的施用可以缓解因秸秆腐解时土壤无机氮的缺乏,避免作物与微生物之间的氮素竞争^[21]。

不同氮肥种类对秸秆降解和土壤养分的影响是否也存在差异?研究表明,添加玉米秸秆后能使铵态氮肥和酰胺态氮肥处理的 N₂O 排放量明显增加,但硝酸钙肥处理的 N₂O 排放量有所降低^[22]。施用尿素处理的稻田 N₂O 排放速率大于硫酸铵处理^[23]。不同氮肥种类对油菜秸秆^[19]和玉米秸秆^[18]腐解和养分释放均有不同的影响,硝酸铵较尿素有更好的油菜秸秆腐解效果,施用硫酸铵对玉米秸秆的促腐效应高于碳酸氢铵和尿素处理。稻油轮作模式是长江流域的主要种植模式,秸秆还田是油菜秆综合利用的主要途径之一。外源氮的添加能够促进土壤微生物活性,提高秸秆降解速率^[13],更好地匹配下茬作物的氮素需求^[24],但氮肥种类对油菜秆还田后对后茬作物种植过程中土壤养分的

收稿日期:2021-07-27

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(编号:GJJ170290);江西省博士后科研择优资助项目(编号:2015KY42);江西水利科技项目(编号:KT201321);长江科学院开放研究基金(编号:CKWV2016400/KY)联合资助。

作者简介:陈忠平(1985—),男,江西赣州人,硕士,高级农艺师,从事农作物种植模式与技术应用示范研究。E-mail: czpjxaas@163.com。

通信作者:杨文亭,博士,副研究员,从事作物碳氮高效利用和农田生态环境研究。E-mail: wtyang@jxau.edu.cn。

影响鲜有报道。鉴于此,为探讨氮肥种类对油菜秆还田后水稻生长过程中的土壤养分变化动态,本试验设置 3 种氮肥(尿素、碳酸氢铵、硫酸铵)和油菜秆还田(油菜秆还田、不还田)2 因素盆栽试验,研究油菜秆还田后水稻生长过程中土壤养分的变化,以期对油菜秆资源的合理利用、科学调控土壤养分及减少农业面源污染提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本试验于 2017 年在江西农业大学农业科技园试验田(115°55'E,28°46'N)中进行。该样地属于亚热带湿润季风气候,年平均温度为 16.6℃,日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$,积温达 5 532.6℃,无霜期约为 272 d,年降水量为 1 790.9 mm。供试土壤采自江西农业大学科技园水稻田耕作层(0~20 cm)土壤。于室外风干后剔除可见的小石块和植物根系,磨细过 2 mm 筛备用。试验前水稻土土壤 pH 值为 4.02(土:1 mol/L 氯化钾为 1:5)、有机质含量为 25.19 g/kg、全氮含量为 1.49 g/kg、碱解氮含量为 106.25 mg/kg、有效磷含量为 17.95 mg/kg、速效钾含量为 62.89 mg/kg、铵态氮含量为 21.89 mg/kg、硝态氮含量为 1.12 mg/kg。油菜秸秆为收获油菜籽后的茎秆,经剪短后烘干粉碎备用。油菜秆氮含量为 6.66 g/kg,碳含量为 400.33 g/kg。本试验供试水稻品种为黄华占。

1.2 试验设计

试验采用双因素完全随机区组设计,油菜秆分还田、不还田等 2 种方式,氮肥种类为尿素、碳酸氢铵和硫酸铵。油菜秆的还田量为土质量的 1%,3 种氮肥分别为尿素(U,含氮 46.66%)、碳酸氢铵(C,含氮 17.72%)、硫酸铵(S,含氮 21.21%);水稻季施氮水平为 150 kg/hm²,施钾(K₂O)水平为 150 kg/hm²,施磷(P₂O₅)水平为 67.5 kg/hm²,根据水稻种植密度(2.5×10^5 穴/hm²)^[25],每盆施纯氮 0.6 g,即尿素、碳酸氢铵和硫酸铵分别为 1.28、3.39、2.83 g。每盆施钾(K₂O)0.6 g,施磷(P₂O₅)0.27 g,即每盆施用含 K₂O 60.0% 的氯化钾 1.0 g,含 P₂O₅ 12.0% 的钙镁磷 2.25 g。在 2017 年 5 月 26 日准备盆栽所有土壤,5 月 28 日按土壤质量的 1% 将油菜秆均匀混入土壤中,所有肥料均一次性施用,为保证试验顺利进行,每个处理设计 24 个重复,试验共 144 盆。盆栽用花盆规格是上口径为

130 mm,底径为 100 mm,高度为 110 mm,每盆装混匀好的土壤 0.5 kg。同日在未添加油菜秆的水稻土中进行水稻播种育苗。6 月 12 日进行秧苗移栽和第 1 次土壤取样,每个盆移栽水稻 1 株,接下来分别于 6 月 26 日、7 月 10 日、7 月 24 日、8 月 7 日进行第 2、3、4、5 次土壤取样,即在水稻播后第 15、29、43、57、71 d 取样。每个处理每次取重复 3 盆。

1.3 测定项目与方法

以油菜秆翻压后 15、29、43、57、71 d 为取样时间,每个处理每次取 3 盆,土壤在自然条件下风干,分别过 10 目筛备测 pH 值和速效养分,取 1/4 土壤过 100 目筛备测有机质和全氮。

1.3.1 相关指标的测定 测定方法参考《土壤农化分析》中的方法^[26]。土壤 pH 值用电位法测定;土壤有机质用重铬酸钾-浓硫酸-加热法测定;土壤全氮用凯氏定氮法测定;土壤碱解氮用碱解扩散法测定;速效钾用火焰分光光度计法测定;硝态氮用紫外分光光度计法测定;铵态氮含量采用 KCl 浸提-靛酚蓝比色法测定。

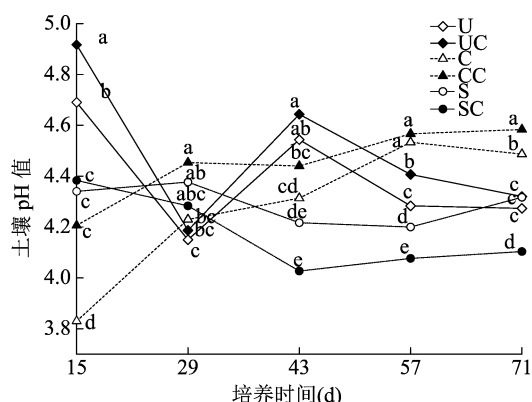
1.3.2 数据处理 用 Excel 2003 进行数据处理,用 SPSS 13.0 统计软件中的 Duncan's 检验法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥种类和油菜秆还田对土壤 pH 值的影响

由图 1 可知,氮肥种类和油菜秆影响了水稻生长过程中的土壤 pH 值。15 d 时,相比不添加油菜秆,尿素和碳酸氢铵处理下添加油菜秆显著提高了土壤 pH 值,硫酸铵处理下无显著差异。无论是否添加油菜秆,施用尿素的土壤 pH 值均显著高于施用碳酸氢铵和硫酸铵的。29 d 时,即水稻移栽 2 周后,相比不添加油菜秆,碳酸氢铵处理下添加油菜秆显著提高了土壤 pH 值。添加油菜秆下,施用碳酸氢铵的土壤 pH 值显著高于施用尿素。在不添加油菜秆下,施用硫酸铵的土壤 pH 值显著高于施用尿素的。43 d 时,油菜秆添加没有显著影响土壤 pH 值。无论是否添加油菜秆,施用尿素的土壤 pH 值均显著高于施用碳酸氢铵和硫酸铵的。57 d 时,相比不加油菜秆,添加油菜秆显著提高了尿素处理下土壤 pH 值,却显著降低了硫酸铵处理下土壤 pH 值。无论添加油菜秆与否,不同氮肥种类下的土壤 pH 值均存在显著差异。71 d 时,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著提高了施用碳酸氢铵的土壤 pH

值,却显著降低了施用硫酸铵的土壤 pH 值。无论添加油菜秆与否,施用碳酸氢铵的土壤 pH 值均显著高于施用尿素和硫酸铵的。



图中 U、UC、C、CC、S、SC 分别表示尿素(U)、尿素+油菜秆(UC)、碳酸氢铵(C)、碳酸氢铵+油菜秆(CC)、硫酸铵(S)、硫酸铵+油菜秆(SC)处理。不同小写字母表示不同处理相同生育期有显著差异($P < 0.05$)。下图同

图1 氮肥种类和油菜秆还田对土壤 pH 值的影响

从双因素方差分析结果(表 1)来看,氮肥种类在所有时期都显著影响了土壤 pH 值,油菜秆的添加仅在水稻刚移栽时(15 d)显著影响了土壤 pH 值。添加油菜秆条件下施用碳酸氢铵有利于保持较高的土壤 pH 值。

表 1 土壤 pH 值的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	13.90 **	61.80 **	2.78
29	1.33	5.41 *	3.65
43	0.05	28.63 **	3.96 *
57	1.02	466.90 **	42.92 **
71	1.40	97.41 **	23.81 **

注:C 表示油菜秆;N 表示氮肥种类;C × N 表示油菜秆和氮肥种类的交互作用。“**”“*”分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

2.2 土壤有机质

由图 2 可知,土壤有机质含量随着秸秆翻压时间持续有降低的趋势,添加油菜秆有利于提高土壤有机质含量。在油菜秆还田 15 d 时(水稻移栽日),相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆均显著提高土壤有机质含量。在不添加油菜秆处理中,施用硫酸铵的土壤有机质含量显著高于施用尿素的。29 d 时,在施用相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,施用碳酸氢铵和硫酸铵下添加油菜秆均显著提高了土壤有机质含量。43 d 时,在施用相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆能显著

增加施用硫酸铵和尿素的土壤有机质含量。添加油菜秆条件下,相比施用硫酸铵,施用尿素和碳酸氢铵均显著降低了土壤有机质含量。57 d 时,随着水稻的生长,土壤有机质含量较前面时期均有一定的下降。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆在施用尿素和碳酸氢铵下均有显著增加。不添加油菜秆条件下,相比施用硫酸铵,施用碳酸氢铵显著降低了土壤有机质含量。71 d 时,相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆仅在施用碳酸氢铵的土壤有机质有显著增加。

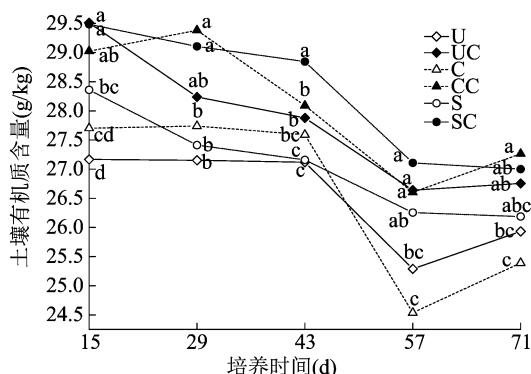


图2 氮肥种类和油菜秆还田对土壤有机质含量的影响

从双因素方差分析结果(表 2)来看,添加油菜秆显著影响了土壤有机质含量,氮肥种类仅在水稻生长 57 d 时对土壤有机质有显著影响,添加等量氮的硫酸铵较尿素有利于保持土壤有机质含量。

表 2 土壤有机质的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	59.83 **	3.41	3.35
29	22.95 **	2.72	0.40
43	38.01 **	3.45	5.10 *
57	20.99 **	4.39 *	1.28
71	13.43 **	0.29	1.21

2.3 土壤全氮

由图 3 可知,油菜秆还田后 15、29 d 时,施用硫酸铵的土壤全氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了硫酸铵处理 15 d 时土壤全氮含量,29 d 时无显著差异。57 d 时,不添加油菜秆条件下,施用尿素的全氮含量显著高于碳酸氢铵和硫酸铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了硫酸铵的土壤全氮含量。71 d 时,不添加油菜秆条件下,施用尿素的全氮含量显著高于碳酸氢铵的。相同氮肥种类下,相比不添加

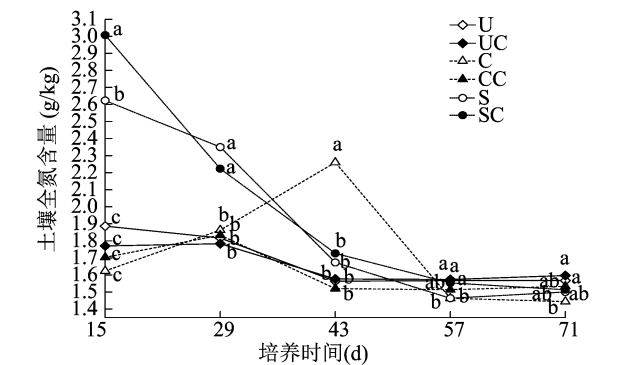


图3 氮肥种类和油菜秆还田对土壤全氮含量的影响

油菜秆,添加油菜秆没有显著影响土壤全氮含量。

从双因素方差分析结果(表3)来看,氮肥种类均显著影响了土壤全氮含量,添加油菜秆仅在43、57 d时显著影响了土壤全氮含量。施用硫酸铵有利于保持施用前期(28 d)较高的土壤全氮含量,添加油菜秆一定程度上有利于保持秸秆还田后期(57、71 d)土壤全氮含量。

表3 土壤全氮的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	2.12	82.39 **	3.36
29	0.46	11.20 **	0.11
43	7.60 *	5.21 *	10.05 **
57	5.28 *	5.34 *	1.28
71	3.31	5.47 *	0.91

2.4 土壤碱解氮

由图4可知,15 d时,无论添加油菜秆与否,施用硫酸铵的土壤碱解氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著提高了施用硫酸铵和碳酸氢铵的土壤碱解氮含量。29 d时,施用硫酸铵的土壤碱解氮含量较施用碳酸氢铵和尿素的均有显著增加。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用尿素的土壤碱解氮含量。43 d时,无论添加油菜秆与否,施用硫酸铵的土壤碱解氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。57 d时,无论添加油菜秆与否,施用硫酸铵的土壤碱解氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用硫酸铵的土壤碱解氮含量。71 d时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤碱解氮含量显著高于施用碳酸氢铵的。

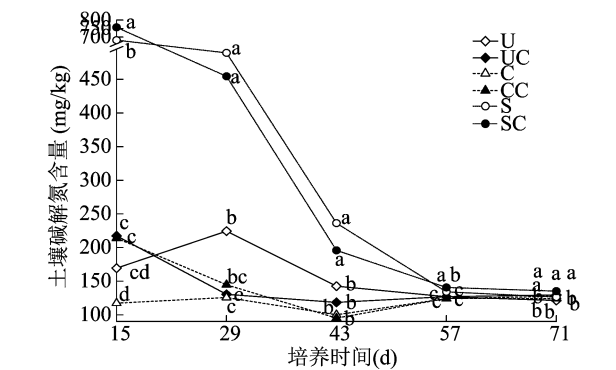


图4 氮肥种类和油菜秆还田对土壤碱解氮含量的影响

从双因素方差分析结果(表4)来看,氮肥种类除了71 d外,其他时期均显著影响了土壤碱解氮含量,油菜秆的添加仅在15、43 d时显著影响了土壤碱解氮。施用硫酸铵有利于保持施用前期(43 d)较高的土壤碱解氮含量,添加油菜秆有利于保持硫酸铵处理后期的土壤碱解氮含量。

表4 土壤碱解氮的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	18.26 **	440.59 **	0.67
29	2.83	94.87 **	2.24
43	3.24 *	30.07 **	0.63
57	1.99	22.90 **	1.51
71	2.82	1.74	2.29

2.5 土壤铵态氮

由图5可知,15 d时,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。在相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用尿素的土壤铵态氮含量。29 d时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量较施用尿素的有显著增加。不添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量较施用碳酸氢铵和尿素的均有显著增加。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著提高了施用碳酸氢铵下的土壤铵态氮含量。43 d时,无论添加油菜秆与否,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用硫酸氢铵和尿素的土壤铵态氮含量。57 d时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量显著高于施用碳酸氢铵和尿素。不添加油菜秆时,施用硫酸铵和碳酸氢铵的土壤铵态氮含量显著高于施用尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用碳酸氢铵的土壤铵

态氮含量。71 d 时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤铵态氮含量显著高于施用碳酸氢铵的。不添加油菜秆时,施用硫酸铵和碳酸氢铵的土壤铵态氮含量显著高于施用尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用碳酸氢铵的土壤铵态氮含量。

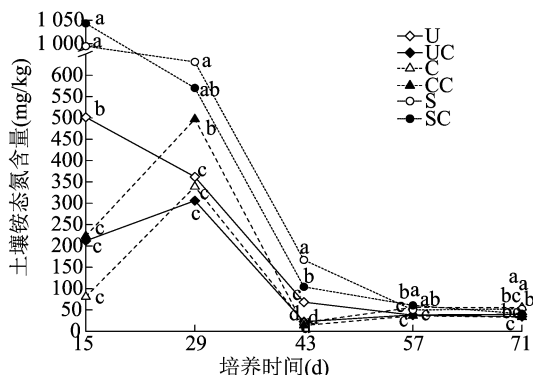


图5 氮肥种类和油菜秆还田对土壤铵态氮含量的影响

从双因素方差分析结果(表 5)来看,氮肥种类和氮肥种类与油菜秆的交互作用均显著影响了土壤铵态氮含量,油菜秆的添加仅在 43、71 d 时显著影响了土壤铵态氮含量。施用硫酸铵有利于保持土壤较高的土壤铵态氮含量。

表 5 土壤铵态氮的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	0.54	135.87 **	8.51 **
29	0.30	40.86 **	8.59 **
43	42.40 **	146.02 **	7.86 **
57	1.72	23.81 **	19.20 **
71	29.83 **	11.11 **	21.66 **

2.6 土壤硝态氮

由图 6 可知,15 d 时,无论添加油菜秆与否,施用硫酸铵的土壤硝态氮含量均显著低于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用硫酸铵和尿素的土壤硝态氮含量。29 d 时,无论是否添加油菜秆,施用硫酸铵的土壤硝态氮含量较施用碳酸氢铵和尿素的均有显著降低。43 d 时,无论是否添加油菜秆,施用尿素的土壤硝态氮含量均显著高于施用碳酸氢铵和硫酸铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用尿素的土壤硝态氮含量。57 d 时,在不添加油菜秆条件下,施用尿素的土壤硝态氮含量显著高于施用碳酸氢铵的。无论添加油菜秆与否,施用碳酸氢铵的土壤硝态氮

含量均显著高于施用硫酸铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了碳酸氢铵下的土壤硝态氮含量,但显著降低了施用尿素的土壤硝态氮含量。71 d 时,不添加油菜秆条件下,施用尿素的土壤硝态氮含量显著低于施用碳酸氢铵和硫酸铵的。添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤硝态氮含量显著高于施用碳酸氢铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著降低了施用碳酸氢铵的土壤硝态氮含量。

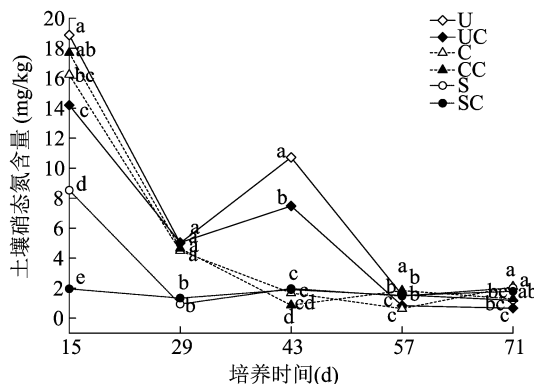


图6 氮肥种类和油菜秆还田对土壤硝态氮含量的影响

从双因素方差分析结果(表 6)来看,氮肥种类显著影响了土壤硝态氮含量,油菜秆的添加除 29、43 d 外均显著影响了土壤硝态氮。施用尿素有利于保持施用前期(43 d)较高的土壤硝态氮含量,添加油菜秆一定程度上降低了前期土壤硝态氮含量。

表 6 土壤硝态氮的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	28.43 **	157.43 **	15.68 **
29	1.87	289.75 **	0.58
43	30.55 **	405.42 **	14.76 **
57	5.67 *	6.51 *	56.51 **
71	8.61 *	10.88 **	0.89

2.7 土壤有效磷

由图 7 可知,15 d 时,无论是否添加油菜秆,施用碳酸氢铵的土壤有效磷含量显著低于施用尿素和硫酸铵的。29 d 时,油菜秆的添加和氮素种类均对土壤有效磷无显著影响。43 d 时,不添加油菜秆时,施用碳酸氢铵的土壤有效磷含量显著低于施用硫酸铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆没有显著影响土壤有效磷含量。57 d 时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的有效磷含量均显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用硫

酸铵的土壤有效磷含量,但显著降低了施用尿素的。71 d 时,油菜秆的添加和氮肥种类对土壤有效磷无显著影响。

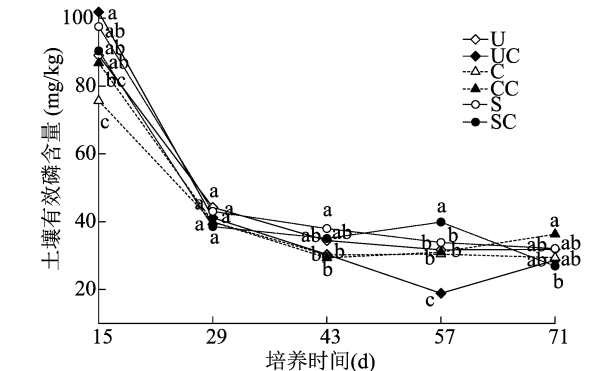


图7 氮肥种类和油菜秆还田对土壤有效磷含量的影响

从双因素方差分析结果(表 7)来看,氮肥种类显著影响了施肥 15、43、57 d 时土壤有效磷含量,油菜秆的添加没有显著影响土壤有效磷含量。

表 7 土壤有效磷的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	2.91	7.55 **	3.81
29	1.94	0.81	0.52
43	2.35	5.30 *	0.30
57	2.46	26.28 **	18.42 **
71	0.05	0.98	3.32

2.8 土壤速效钾

由图 8 可知,15 d 时,不添加油菜秆时,施用碳酸氢铵的土壤速效钾含量显著高于施用尿素和硫酸铵的;添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤速效钾含量显著低于施用尿素和碳酸氢铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用尿素和硫酸铵的土壤速效钾含量。29 d 时,相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用碳酸氢铵的土壤速效钾含量。43 d 时,油菜秆和氮肥种类均对土壤速效钾含量无显著影响。57 d 时,不添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤速效钾含量显著低于施用尿素和碳酸氢铵的。添加油菜秆时,施用碳酸氢铵的土壤速效钾含量显著高于施用碳酸氢铵和尿素的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用硫酸铵和碳酸氢铵的土壤速效钾含量。71 d 时,添加油菜秆时,施用硫酸铵的土壤速效钾含量显著高于施用尿素和碳酸氢铵的。相同氮肥种类下,相比不添加油菜秆,添加油菜秆显著增加了施用硫酸铵的

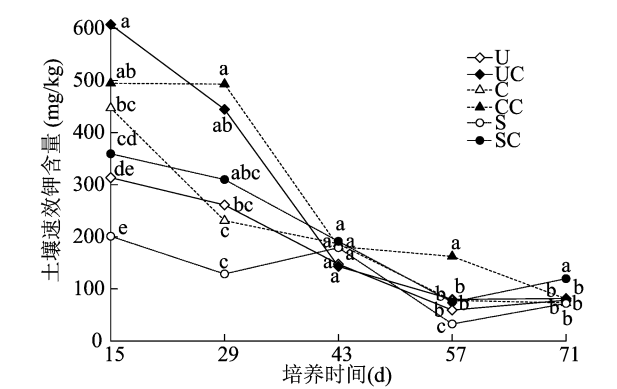


图8 氮肥种类和油菜秆还田对土壤速效钾含量的影响

土壤速效钾含量。

从双因素方差分析结果(表 8)来看,氮肥种类显著影响了施肥 15、57、71 d 时土壤速效钾含量,油菜秆显著影响了施肥 15、29、57、71 d 时土壤速效钾含量。油菜秆的添加一定程度上增加了土壤速效钾含量。

表 8 土壤速效钾的双因素方差分析

培养时间 (d)	F 值		
	C	N	C × N
15	26.19 **	14.48 **	4.79 *
29	18.32 **	3.56	0.29
43	0.003	2.85	0.13
57	78.39 **	52.46 **	11.52 **
71	10.79 **	3.93 *	5.62 *

3 讨论

长期施用化肥会降低农田土壤 pH 值^[27]。铵态氮肥施入土壤中会发生硝化作用,硝化作用过程中每 1 molL NH₄⁺ 硝化为 NO₃⁻ 向环境释放 2 mol H⁺ ^[28]。氮素作为硝化作用的底物,不同氮肥种类对土壤硝化作用的影响不一样^[29]。本试验研究结果表明,(NH₄)₂SO₄ 的施用较 NH₄HCO₃ 在水稻生长 57、71 d 时显著降低了土壤 pH 值。在赤红壤中的盆栽试验表明,不同氮肥种类的酸化能力顺序为 (NH₄)₂SO₄ > NH₄Cl > NH₄NO₃ > CO(NH₂)₂ ^[30],但 CO(NH₂)₂ 和 (NH₄)₂SO₄ 的施用早期(15 d)能够一定程度提高土壤 pH 值,这可能与尿素^[31]和硫酸铵刚开始发生水解产生大量 NH₄⁺ 有关。15 d 时,施用 (NH₄)₂SO₄ 土壤中碱解氮和铵态氮含量显著高于施用 CO(NH₂)₂ 和 NH₄HCO₃ 的。土壤 pH 值的降低与土壤硝化作用有关,施肥能够提高酸性红壤的硝化作用和酸化速率^[31]。在本研究中,在添加油

菜秆的条件下,施用 3 种氮肥的处理均能提高土壤 pH 值。有机物质的施用能够提高土壤 pH 值,其原理主要是利用秸秆中含有的丰富的碱基,降低土壤铝的饱和度和可溶性^[32]。盆栽试验表明,油菜秸秆还田有利于减缓红壤酸化,提高有机质含量^[33],基于油菜秆的生物炭也能提高红壤 pH 值^[34],添加玉米秸秆也能够提高黑土的酸碱缓冲能力,高有机质的土壤提高 pH 值的效果最好^[35]。

但在水稻生长 43 d 时,施用硫酸铵处理的土壤 pH 值较不添加秸秆有酸化的趋势。 SO_4^{2-} 对土壤硝化有促进作用^[29],硫酸铵处理下酸化加剧的可能原因是由于油菜秆的添加一定程度上加剧了 SO_4^{2-} 抑制细胞活性。另一方面土壤本身较低的 pH 值降低了微生物活性和缓解秸秆的降解速度^[36]。在本试验中,尿素的施用早期会使土壤 pH 值升高,这可能是由于尿素的水解作用^[30]。周细红等研究发现,在短期内施用尿素能明显使土壤 pH 值升高,并增加土壤氮的挥发^[37]。但从整体来看,施用尿素后,随着水稻的生长,土壤 pH 值逐渐下降。这与曾清如等的研究结果^[38]相似。练成燕等在花生种植试验中也发现,尿素的施用降低了土壤 pH 值^[39]。

土壤有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标,也是平衡施肥的重要参数,其形成量取决于进入土壤的有机物料数量及其腐解残留率的大小^[40]。作物秸秆是农田土壤有机碳库的重要外部补充^[41]。本研究结果表明,油菜秆还田在 3 种氮肥条件下均提高了土壤有机质的含量,但在水稻生长 57 d 后土壤有机质有显著降低。尿素的施用对土壤有机质积累与碳投入关系具有较大影响^[42]。汪军等发现稻麦秸秆还田配施尿素有利于提高土壤有机质^[20]。杨彩迪等进行的盆栽试验表明,油菜秸秆还田有利于提高水稻生育期的土壤有机质含量^[33]。何成芳等在微区模拟试验中发现,油菜秸秆还田有利于提高水稻生长前期土壤有机质^[42],但在水稻生长后期,土壤有机质含量降低,可能原因是水稻在生长后期消耗大量养分,从而导致土壤有机质含量下降。

秸秆还田不仅能提高土壤有机质含量,还可以维持土壤中氮素的平衡。在本研究结果中,油菜秆的添加增加了碳酸氢铵、硫酸铵处理的水稻移栽前(15 d)土壤全氮含量。张水清等指出,使用玉米秸秆还田处理时,土壤全氮含量有显著提高^[43]。本研究结果表明,氮肥种类对 15、29 d 的土壤全氮含量有显著影响,硫酸铵处理下的土壤全氮含量显著高

于施用尿素和碳酸氢铵的。王伟等研究发现,施用硫酸铵的处理,土壤的全氮含量显著高于尿素施用时的土壤全氮含量^[44]。施用尿素、碳酸氢铵、硫酸铵显著影响了土壤碱解氮和铵态氮,相比尿素、碳酸氢铵,施用硫酸铵显著提高了 15、29 d 的土壤碱解氮和铵态氮含量,可能的原因是硫酸铵处理下的铵态氮由于土壤偏酸不容易挥发,而尿素的水解提高了土壤 pH 值,可能促进了氮挥发^[45]。相同施氮量硫酸铵处理下的水稻土铵态氮含量要高于尿素处理^[45]。15 d 时硫酸铵处理下的土壤硝态氮含量显著低于尿素处理,这可能是由于尿素在水稻土壤中的硝化作用强于硫酸铵。

秸秆还田能够改善土壤有效磷和速效钾含量^[46-47]。本试验结果表明,油菜秆还田显著增加了土壤速效钾含量,但对有效磷没有明显影响。秸秆中的钾素主要以离子态存在且容易被腐解释放出来供作物吸收利用。紫云英和水稻秸秆协同还田有利于提高土壤钾素含量^[48]。在保障水稻产量前提下,油菜秆还田能够减少一定的化学钾肥施用量^[49]。本研究结果表明,相比尿素,施用硫酸铵显著增加了 57 d 时土壤有效磷含量,但显著降低了 15 d 时土壤速效钾含量。土壤有效磷的增加可能是施用硫酸铵促进了油菜秆磷素的释放。研究表明,相比尿素,施用硫酸铵有利于促进玉米秸秆磷素的释放^[18],施用硫酸铵均显著降低了花生苗期、花期和结荚期土壤速效钾含量^[50]。

4 结论

综合来看,氮肥种类和油菜秆还田对水稻生长过程中土壤养分有一定的影响。添加油菜秆有利于提高土壤 pH 值、有机质和速效钾的含量。无论是否添加油菜秆,施用硫酸铵较施用尿素和碳酸氢铵更有利于保持秸秆翻压和施肥前期土壤全氮、碱解氮和铵态氮含量。

参考文献:

- [1] 李小坤,任涛,鲁剑巍. 长江流域水稻—油菜轮作体系氮肥增产增效综合调控[J]. 华中农业大学学报,2021,40(3):13-20.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[DB/OL]. [2021-07-02]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.htm>.
- [3] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京:中国农业科学院,2010:87-88.
- [4] 严文莲,刘端阳,孙燕,等. 秸秆焚烧导致的江苏持续雾霾天气过程分析[J]. 气候与环境研究,2014,19(2):237-247.

- [5] Li J B, Kwak J H, Chen J L, et al. Canola straw biochars produced under different pyrolysis temperatures and nitrapyrin independently affected cropland soil nitrous oxide emissions [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2021, 57(2): 319–328.
- [6] 柴如山, 徐悦, 程启鹏, 等. 安徽省主要作物秸秆养分资源量及还田利用潜力[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(1): 95–109.
- [7] 吴裕如, 王承, 艾亥麦提·艾麦尔江, 等. 油菜秸秆还田及氮肥减量对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 2020, 46(6): 641–648.
- [8] 王昆昆, 廖世鹏, 任涛, 等. 连续秸秆还田对油菜水稻轮作土壤磷素有效性及作物磷素利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(1): 94–104.
- [9] Wang C X, Chang Z L, Niu S J. Effect of maize straw – derived biochar on calcareous arable soil organic carbon mineralization under the condition of with or without nitrogen – fertilizer addition [J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, 20(4): 2606–2616.
- [10] 冯晓赞, 万鹏, 李洁. 秸秆还田与氮肥配施对中南地区稻田土壤固碳和温室气体排放的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2016, 33(6): 508–517.
- [11] Pan X Y, Xu R K, Nkoh J N, et al. Effects of straw decayed products of four crops on the amelioration of soil acidity and maize growth in two acidic Ultisols [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(5): 5092–5100.
- [12] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(1): 1–21.
- [13] Guo T F, Zhang Q A, Ai C, et al. Nitrogen enrichment regulates straw decomposition and its associated microbial community in a double – rice cropping system [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 1847.
- [14] 周桂香, 陈林, 张丛志, 等. 温度水分对秸秆降解微生物群落功能多样性影响[J]. *土壤*, 2015, 47(5): 911–918.
- [15] Tang S R, Cheng W G, Hu R G, et al. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off – rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, 52(5): 739–748.
- [16] 焦有宙, 高赞, 李刚, 等. 不同土著菌及其复合菌对玉米秸秆降解的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 201–207.
- [17] 宋志伟, 陈露露, 潘宇, 等. 3 种菌剂对水稻秸秆降解性能的影响[J]. *生态环境学报*, 2018, 27(11): 2134–2141.
- [18] 石琳, 金梦灿, 单旭东, 等. 不同形态氮素对玉米秸秆腐解与养分释放的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(2): 277–285.
- [19] 李晓华, 韩上, 雷之萌, 等. 氮素形态对油菜秸秆腐解及养分释放规律的影响[J]. *中国生态农业学报 (中英文)*, 2019, 27(5): 717–725.
- [20] 汪军, 王德建, 张刚, 等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 40–44, 62.
- [21] Allison S D, Lu Y, Weihe C, et al. Microbial abundance and composition influence litter decomposition response to environmental change [J]. *Ecology*, 2013, 94(3): 714–725.
- [22] 姜宁宁, 李玉娥, 华路, 等. 不同氮源及秸秆添加对菜地土壤 N₂O 排放影响[J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 219–223.
- [23] 席瑞泽, 付庆灵, 杨永强, 等. 氮肥品种和含水量对水稻土 N₂O 排放速率及排放过程的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(12): 2553–2560.
- [24] Cao Y S, Sun H F, Zhang J N, et al. Effects of wheat straw addition on dynamics and fate of nitrogen applied to paddy soils [J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, 178: 92–98.
- [25] 曾勇军, 石庆华, 李木英, 等. 施肥和密度对一季稻群体质量及产量的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2003, 25(3): 325–330.
- [26] 鲍士旦. 土壤酸化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 260–299.
- [27] 唐贤, 梁丰, 徐明岗, 等. 长期施用化肥对农田土壤 pH 影响的整合分析[J]. *吉林农业大学学报*, 2020, 42(3): 316–321.
- [28] Vries W, Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1987, 35(3/4): 293–310.
- [29] Zhao X, Xing G X. Variation in the relationship between nitrification and acidification of subtropical soils as affected by the addition of urea or ammonium sulfate [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(12): 2584–2587.
- [30] 艾绍英, 孙自航, 姚建武, 等. 氮肥种类及用量对赤红壤 pH 和可溶性盐的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(4): 1614–1618.
- [31] 佟德利, 徐仁扣. 三种氮肥对红壤硝化作用及酸化过程影响的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(4): 853–859.
- [32] 米国华, 陈范骏, 张福锁. 作物养分高效的生理基础与遗传改良 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 31–37.
- [33] 杨彩迪, 卢升高. 秸秆直接还田和炭化还田对红壤酸度、养分和交换性能的动态影响[J]. *环境科学*, 2020, 41(9): 4246–4252.
- [34] 董颖, 邵捷, 徐仁扣, 等. 不同地区油菜秸秆制备的生物质炭对酸性红壤的改良效果[J]. *土壤*, 2020, 52(1): 134–138.
- [35] 王娇, 王鸿斌, 赵兴敏, 等. 添加秸秆对不同有机含量土壤酸度及缓冲性能的影响[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(6): 361–368.
- [36] 汪吉东, 张辉, 张永春. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1178–1185.
- [37] 周细红, 曾清如, 蒋朝辉. 尿素施用对土壤 pH 值和模拟温室箱内 NH₃ 和 NO₂ 浓度的影响[J]. *土壤通报*, 2004, 35(3): 374–376.
- [38] 曾清如, 廖柏寒, 蒋朝辉, 等. 施用尿素引起红壤 pH 及铝活性的短期变化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 249–252.
- [39] 练成燕, 王兴祥, 李奕林. 种植花生、施用尿素对红壤酸化作用及有机物料的改良效果[J]. *土壤*, 2010, 42(5): 822–827.
- [40] 于淑芳, 杨力, 张玉兰, 等. 长期施肥对土壤腐殖质组成的影响[J]. *土壤通报*, 2002, 33(6): 165–167.
- [41] Jin Z Q, Shah T, Zhang L, et al. Effect of straw returning on soil organic carbon in rice – wheat rotation system; a review [J]. *Food and Energy Security*, 2020, 9(2): e200.

徐 灿,陈永伟,张 敏,等. 滴灌水肥一体化玉米株行距配置试验[J]. 江苏农业科学,2021,49(21):81-85.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.21.012

滴灌水肥一体化玉米株行距配置试验

徐 灿,陈永伟,张 敏,靳 韦,杨 波,王 昊,夏学智,马文礼

(宁夏农垦农林牧技术推广服务中心,宁夏银川 750024)

摘要:合理增加种植密度是国内外玉米增产的重要途径,但合理的密植范围受品种及种植技术等的影响。本试验旨在分析种植区种植密度对不同玉米品种生长与产量的影响,进一步发挥品种和栽培密度之间的增产优势,筛选出适宜在本地种植的优质高产玉米品种、株行距配置及密度。本试验采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验设计,通过滴灌水肥一体化技术,研究品种、行距(宽行、窄行)、株距对玉米产量的影响。结果表明,对穗粒数影响因素次序为品种>宽行>株距>窄行,对百粒质量影响因素次序为品种>株距>宽行>窄行,而对产量影响因素次序为品种>窄行>宽行>株距;玉米种植较优水平组合为 $A_3B_3C_2D_2$,即品种为迪卡 159、宽行为 80 cm、窄行为 30 cm、株距为 18 cm。在此条件下,迪卡 159 在种植密度为 10.1 万株/hm²(宽行 80 cm、窄行 30 cm、株距 18 cm)时可获得较高产量,为实现西北玉米区玉米高产、稳产提供了科学指导和理论参考。

关键词:滴灌;水肥一体化;玉米;株行距配置;正交试验;产量

中图分类号: S513.06;S513.07 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)21-0081-05

玉米是我国分布最广的谷类作物,对保障国家粮食安全发挥重要作用。品种遗传特性和栽培管理方式决定玉米籽粒产量的高低。因此,在玉米生产过程中探究不同品种在种植地区的表现以及不同株行距配置下密度的变化对玉米产量具有十分重要的指导意义。国内外学者研究认为种植密度是限制籽粒产量的关键,玉米密植下选择耐密植基因型来优化群体种植密度是重要的栽培技术^[1-4]。前人研究认为,在一定密度下,合理株行距配置能

构建高效的地上部群体结构,也能形成发达、具有旺盛活力的地下根群,与地上部分生长相协调,有效利用土壤中水分和养分^[5]。杨吉顺等的研究表明,在较高密度条件下,宽窄行 40~80 cm 的配置有助于扩大光合面积、增加穗位叶层的光合有效辐射、提高群体光合速率、减少群体呼吸消耗,从而提高籽粒产量^[6]。2005—2016 年,西北玉米区通过推广利用郑单 958、先玉 335 等耐密性品种,使种植密度从 4.50 万株/hm² 增加到了 6.77 万株/hm²^[7-9],进而提高了产量水平。所以选择耐密性品种进行合理密植是今后西北玉米区实现玉米单产增加的落脚点。但是,就西北玉米区目前育成和推广的品种来看,耐密性还有待进一步提高。本试验通过分析不同玉米品种在不同种植密度下的生产数据,明确种植密度对不同玉米品种生长与产量的影响,揭

收稿日期:2021-02-22

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2018BBF02018)。

作者简介:徐 灿(1993—),女,宁夏银川人,硕士,助理农艺师,主要从事农业技术推广工作。E-mail:519966653@qq.com。

通信作者:马文礼,硕士,高级农艺师,主要从事作物栽培技术与推广工作。E-mail:mwl7544@163.com。

[42]何成芳,朱鸿杰,戚传勇,等. 油菜秸秆还田对土壤养分及水稻生长的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(30):78-79,93.

[43]张水清,林 杉,郭斗斗,等. 长期施肥下潮土全氮、碱解氮含量与氮素投入水平关系[J]. 中国土壤与肥料,2017,22(6):23-29.

[44]王 伟,德科加. 不同氮肥及施氮水平对称多县高寒草甸生物量和养分的影响[J]. 草地学报,2015,23(5):968-977.

[45]薛金元,朱紫娟,赵佳秀,等. 氮肥施用对水稻土氮素赋存形态和硝化作用的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2021,42(1):105-110,118.

[46]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.

[47]柴如山,安之冬,马 超,等. 我国主要粮食作物秸秆钾养分资源量及还田替代钾肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(2):201-211.

[48]张 帆,杨 茜. 紫云英与双季稻秸秆协同利用影响稻田土壤钾循环与平衡[J]. 草业学报,2021,30(1):72-80.

[49]张 磊,张维乐,鲁剑巍,等. 秸秆还田条件下不同供钾能力土壤水稻、油菜、小麦钾肥减量研究[J]. 中国农业科学,2017,50(19):3745-3756.

[50]梁 红. 氮肥种类对土壤养分及花生产量和品质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学. 2020:24-26.