

时红,才硕,孙占学,等. 种植方式对稻田水肥利用及环境效应的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):229-235.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.037

种植方式对稻田水肥利用及环境效应的影响

时红^{1,2},才硕²,孙占学¹,万绍媛²

(1. 东华理工大学,江西南昌 330013; 2. 江西省灌溉试验中心站,江西南昌 330201)

摘要:为探究不同种植方式下双季稻田水肥利用、流失及其环境效应,以中嘉早 17 和 H 优 518 为试验材料,采用大田对比试验方法,通过设置手工插秧 (HT)、抛秧 (ST)、机插 (MT)、直播 (DS) 4 种植方式,研究种植方式对双季稻产量、水分利用效率、氮磷利用与流失、稻田温室气体排放及温室效应的影响。结果表明,不同种植方式下,早晚稻产量、水分利用效率、氮磷内部利用效率和收获指数的变化趋势均表现为 HT > ST (或 MT) > DS,径流氮磷排放量、CH₄ 和 CO₂ 排放量以及双季累计的全球增温潜势和温室气体排放强度均表现为 DS > ST (或 MT) > HT; DS 处理较 HT 处理双季平均减产 12.35%,水分利用效率和氮、磷养分内部利用效率双季平均分别下降 19.50%、6.73%、6.29%,而径流总氮排放量、径流总磷排放量、CH₄ 排放量、CO₂ 排放量、全球增温潜势和温室气体排放强度双季累计分别增加 24.05%、41.40%、6.67%、14.47%、6.74%、21.37%。由此可见,手工插秧在降低农田径流氮磷流失、减少温室气体排放和温室效应、促进水肥利用和水稻增产方面效果最优,而直播方式的生态效应相对较差。

关键词:双季稻;种植方式;水分利用效率;氮磷利用与流失;温室效应

中图分类号:S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)17-0229-06

水稻是我国最重要的粮食作物,在保障粮食安全中具有重要地位^[1]。近年来,农村劳动力成本和农资价格大幅上涨以及水稻栽插机械化的发展,加速了农村土地流转进程,导致农业经营主体发生了变化,水稻种植方式发生了深刻变革。目前,水稻种植呈现出手工插秧、抛秧、直播和机械插秧等多元化发展的现状。20 世纪 90 年代,江西双季稻种植还以手工栽插为主,占水稻种植面积的 90% 以上,而抛秧技术则处于起步发展阶段^[2]。然而,截至 2017 年,手工栽插的比例下降至 22%,抛秧则上升至 55%,机械插秧和直播发展迅速,分别达到 6% 和 17%。水稻直播、抛秧和机械化插秧正在逐步替代传统的手工插秧^[3]。

长期以来,关于水肥管理与耕作措施对水稻养分吸收、产量品质及环境效应影响的研究主要集中在

在手工插秧方式上。然而,随着抛秧、直播和机插秧等轻简栽培技术的广泛应用,稻田的水肥管理方式产生了变化,致使水稻灌溉排水、养分吸收、稻田氮磷流失和温室气体排放等均发生了改变,传统手工移栽的研究成果已不能完全满足双季稻技术要求与生产实际。为此,众多学者对不同种植方式下水稻生长发育^[4]、产量及经济效益^[5]、微生物种群^[6]、病虫草害发生特点^[7-8]、氮素利用效率^[9]以及温室气体排放^[10]等方面进行了评价,认为种植方式不同的水稻生育期长短不同,水稻所处的温光环境条件各异,导致水稻生长发育、产量水平、养分吸收利用等均存在一定的差异。但目前针对不同种植方式下稻田水分利用、氮磷流失以及温室气体排放开展的系统分析与综合评价的研究相对较少。因此,本试验研究了不同种植方式对双季稻田的水肥利用、氮磷流失和温室效应的影响,以期对双季稻高效稳产栽培与可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试品种

试验以中嘉早 17 和 H 优 518 为早晚稻供试品种,于 2016 年 3 月至 2017 年 10 月在江西省灌溉试验中心站研究基地 (116°00'E, 28°26'N) 进行。研究基地位于江西省赣抚平原灌区,属亚热带湿润季风性

收稿日期:2022-04-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960377);江西水利科技项目(编号:KT201628、KT201630);长江科学院开放研究基金(编号:CKWV2016400/KY)。

作者简介:时红(1984—),女,江西彭泽人,博士研究生,高级工程师,主要从事农田生态与面源污染防治技术研究。E-mail: 8659979@163.com。

通信作者:孙占学,博士,教授,博士生导师,主要从事水文地质研究。E-mail:zhxsun@ecut.edu.cn。

气候,多年平均气温约 18 ℃,降水量约 1 530 mm。试验田土壤为冲积性黄泥土发育而成的水稻土,试验前土壤(0~20 cm)基本理化性状:pH 值 6.07,有机质含量 21.75 g/kg,全氮含量 1.54 g/kg,全磷含量 0.52 g/kg,碱解氮含量 105.78 mg/kg,速效磷含量 5.98 mg/kg,速效钾含量 80.12 mg/kg。

1.2 试验处理

试验采用大田小区试验方法,分别设置手工插秧(HT)、抛秧(ST)、机插(MT)、直播(DS)4 个处理,每个小区面积 86.40 m²,3 次重复。各小区间筑埂

并用塑料薄膜包裹,单独灌排。

各处理氮肥(N)用量均为 180 kg/hm²,其中直播处理按基肥、断奶肥、分蘖肥、穗肥质量比 4:2:2:2 施用,手工插秧、抛秧和机插均按基肥、分蘖肥、穗肥质量比 4:3:3 的方式施用;各处理磷肥(P₂O₅)用量均为 90 kg/hm²,均做基肥一次性施用;钾肥(K₂O)用量均为 180 kg/hm²,均按基肥、分蘖肥、穗肥质量比 4:3:3 的方式施用。早、晚稻不同种植方式的种植管理情况见表 1,其他栽培管理措施按照当地高产栽培技术规程进行。

表 1 不同试验处理种植管理情况

年份	稻季	处理	播种日期 (月-日)	栽种日期 (月-日)	收割日期 (月-日)	播种量或种植密度	苗数 (穴)
2016	早稻	AT	03-25	04-24	07-13	23.3 cm×13.3 cm	3
		ST	03-25	04-24	07-13	110 万株/hm ²	
		MT	03-25	04-20	07-13	26.9 cm×13.3 cm	4
		DS	04-08		07-18	60 kg/hm ²	
	晚稻	AT	06-25	07-23	11-02	26.7 cm×13.3 cm	2
		ST	06-25	07-23	11-02	90 万株/hm ²	
		MT	06-25	07-23	11-02	26.9 cm×13.3 cm	3
		DS	07-20		11-11	60 kg/hm ²	
2017	早稻	AT	03-23	04-24	07-17	23.3 cm×13.3 cm	3
		ST	03-23	04-24	07-17	110 万株/hm ²	
		MT	03-23	04-24	07-17	26.9 cm×13.3 cm	4
		DS	04-03		07-17	60 kg/hm ²	
	晚稻	AT	06-27	07-29	11-01	26.7 cm×13.3 cm	2
		ST	06-27	07-29	11-01	90 万株/hm ²	
		MT	07-02	07-28	11-01	26.9 cm×13.3 cm	3
		DS	07-25		11-16	60 kg/hm ²	

1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤基本理化性质的测定 土壤 pH 值用 IQ-150 型 pH 计测定;全 N、全 P、碱解氮、速效磷、速效钾及有机质含量测定参照鲍士旦的方法^[11]。

1.3.2 产量、耗水量与水分利用效率 产量:于成熟期各小区实割 6 m²,脱粒、晒干去杂称质量,并按照 13.5%含水量折算实际产量。

耗水量:在水稻生长期每天 08:00 观测田间水位。田面有水层时使用 ZHD-60 型电测针在每个小区固定位置上测定水层深,无水层时采用补水法确定耗水量。根据逐日耗水量累加计算得出生育期的总耗水量。

水分利用效率(kg/m³)=稻谷产量/耗水量。

1.3.3 植株氮磷养分吸收利用 水稻收获时各小区随机采集植株样本 5 穴,将根剪除后按茎、叶、穗

分开包扎,在 105 ℃下杀青 30 min,80 ℃烘干至恒质量,冷却称量干物质质量后研磨、过筛,采用 Kjeltac 2300 全自动凯氏定氮仪(瑞典 FOSS 公司)测定全氮含量,全磷含量采用钼锑抗比色法(NY/T 2421—2013《植株全磷含量测定 钼锑抗比色法》)测定。

水稻植株氮(磷)养分吸收量(kg/hm²)=地上部分干物质质量×养分含量;氮(磷)养分收获指数=籽粒养分吸收量/植株养分吸收量×100%;氮(磷)养分内部利用效率(kg/kg)=稻谷产量/植株养分吸收量。

1.3.4 径流氮磷排放量 于每次稻田排水过程中采集每个小区田面水到室内进行总氮(TN)和总磷(TP)浓度测定,同时记录每次排水量。采集的水样当日送至实验室测定分析,总氮浓度用碱性过硫酸

钾消解,采用紫外分光光度法(HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》)测定,总磷浓度采用钼酸铵分光光度法(GB/T 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》)测定。

径流氮(磷)排放量(kg/hm^2) = 田面排水量 \times 排水氮(磷)浓度。

1.3.5 温室气体采集与测定 CH_4 、 N_2O 、 CO_2 的采集与测定采用静态暗箱—气相色谱法。早晚稻生长期内气体采集时间为当日 08:00—11:00,采样频率为 5~7 d 采集 1 次,施肥后 1 周内 2~3 d 采集 1 次,采样时按 0、10、20、30 min 的时间间隔用 50 mL 注射器抽取采气箱内气体,并迅速保存至真空气袋中,待采样结束后带回实验室,采用 Agilent7890b 气相色谱仪(美国 Agilent 公司)测定 CH_4 、 N_2O 、 CO_2 气体浓度。静态箱构造与通气量计算方法参照 Zhang 等的方法^[12]。

以 100 年为时间尺度,单位质量 CH_4 和 N_2O 的全球增温潜势分别为 CO_2 的 25 倍和 298 倍。全球增温潜势(GWP)和温室气体排放强度(GHGI)计算公式如下:

全球增温潜势(CO_2 kg/hm^2) = $25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O}$;温室气体排放强度($\text{CO}_2 - \text{eq kg}/\text{kg}$) = 全球增温潜势/双季水稻全年产量。

1.4 数据处理与统计分析

2016 年和 2017 年 2 年产量数据趋势一致,且年际间无显著差异,文中试验数值为 2 年数据的平均值 \pm 标准差。采用 Excel 2003 软件处理数据,利用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析。不同处理之间的多重比较采用最小显著性检验(Duncan's)法,以不同小写字母表示达到显著差异水平($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 产量及水分利用效率

由表 2 可知,不同种植方式下,早晚稻产量和水分利用效率的变化趋势均表现为 $\text{HT} > \text{ST} > \text{MT} > \text{DS}$,早稻耗水量大小顺序依次为 $\text{DS} > \text{MT} > \text{ST} > \text{HT}$,晚稻耗水量依次为 $\text{DS} > \text{MT} > \text{HT} > \text{ST}$ 。早晚稻不同处理的产量均以 HT 处理最高,且显著高于其他处理,产量最低的 DS 处理较 MT、ST 和 HT 分别减产 0.43%、1.51%、8.83% 和 10.50%、12.26%、16.38%。早、晚稻 DS 处理耗水量均显著高于其他处理,较 HT 处理分别增加 12.88% 和 4.30%。早

晚稻 DS 处理的水分利用效率显著低于其他处理,其减幅范围分别为 6.52%~19.38% 和 13.61%~19.62%。

表 2 不同种植方式下双季稻产量及水分利用效应

稻季	处理	产量 (kg/hm^2)	耗水量 (m^3/hm^2)	水分利用效率 (kg/m^3)
早稻	HT	7 037.49 \pm 105.74a	4 402.85 \pm 45.35c	1.60 \pm 0.01a
	ST	6 514.40 \pm 113.66b	4 604.68 \pm 79.68b	1.41 \pm 0.05b
	MT	6 443.58 \pm 61.75b	4 683.93 \pm 23.93b	1.38 \pm 0.02b
	DS	6 416.00 \pm 39.91b	4 969.93 \pm 4.93a	1.29 \pm 0.01c
晚稻	HT	8 571.45 \pm 86.96a	5 425.00 \pm 75.50b	1.58 \pm 0.01a
	ST	8 169.61 \pm 72.38b	5 409.15 \pm 183.30b	1.51 \pm 0.04b
	MT	8 008.67 \pm 40.86b	5 455.15 \pm 94.80b	1.47 \pm 0.03b
	DS	7 167.61 \pm 130.00c	5 658.38 \pm 62.63a	1.27 \pm 0.01c

注:同列数据后不同小写字母表示同一稻季不同处理间在 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。表 3 至表 5 同。

2.2 氮磷养分利用效率

由图 1 可见,不同种植方式对水稻植株氮磷养分利用产生一定影响。在氮素利用方面,早晚稻 DS 处理的氮素养分内部利用效率均显著低于其他处理,较 MT、ST、HT 分别降低 3.65%、5.52%、9.28% 和 3.49%、4.88%、4.18%;氮素收获指数总体呈现出 $\text{HT} > \text{ST}$ (或 MT) $> \text{DS}$ 的变化趋势,且 DS 处理明显低于 HT 处理,早晚稻分别降低 5.73% 和 5.31%。在磷素利用方面,早晚稻磷素内部利用效率和收获指数的大小关系均表现为 $\text{HT} > \text{ST} > \text{MT} > \text{DS}$,早晚稻 DS 处理的磷素内部利用效率较其他处理显著减少了 5.20%~8.08% 和 2.87%~4.50%,磷素收获指数分别减少 6.01%~10.28% 和 2.03%~4.91%。可见,早晚稻不同种植方式的植株养分利用效应均以直播处理最低。

2.3 稻田径流氮磷排放效应

如表 3 所示,由于早晚稻种植期内降水量的差异(早稻季降水量为 536.6 mm,晚稻季为 261.28 mm),致使早稻的田间排水量和径流氮磷排放量均明显高于晚稻。在早稻季,不同处理的排水量以 DS 处理最高,且显著高于其他处理;总氮和总磷排放量总体呈现 $\text{DS} > \text{ST}$ (或 MT) $> \text{HT}$,并且 DS 较 HT 分别显著增加 2.55、52.54 g/hm^2 ,增幅分别为 16.61% 和 31.31%。在晚稻季,HT、ST、MT 各处理的排水量差异不大,但均显著低于 DS 处理;DS 处理的总氮和总磷排放量均显著高于其他处理,其增幅分别为 16.26%~34.00% 和 28.23%~67.64%。

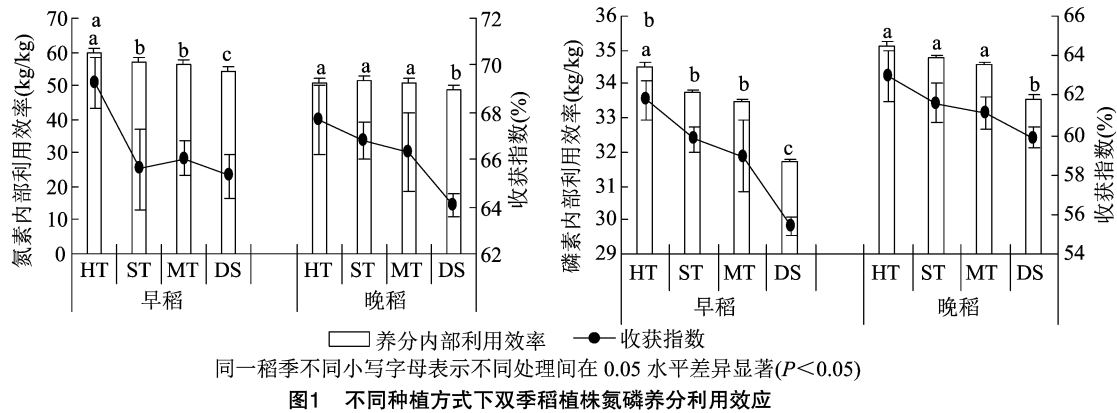


表 3 不同种植方式稻田径流氮磷排放效应				
稻季	处理	排水量 (m^3/hm^2)	总氮排放量 (kg/hm^2)	总磷排放量 (g/hm^2)
早稻	HT	1 973.86 \pm 31.35b	15.35 \pm 1.09b	167.83 \pm 6.29c
	ST	1 900.18 \pm 87.06b	16.76 \pm 0.81ab	176.86 \pm 8.35bc
	MT	1 970.82 \pm 42.82b	16.21 \pm 1.15ab	187.95 \pm 7.50b
	DS	2 206.11 \pm 28.89a	17.90 \pm 0.37a	220.37 \pm 6.17a
晚稻	HT	888.38 \pm 13.38b	11.47 \pm 0.73c	64.52 \pm 5.00d
	ST	929.45 \pm 52.75b	13.22 \pm 1.05b	73.07 \pm 3.95c
	MT	941.55 \pm 49.25b	11.58 \pm 0.57bc	84.35 \pm 1.90b
	DS	1 075.76 \pm 34.09a	15.37 \pm 1.10a	108.16 \pm 6.04a
双季	HT	2 862.24 \pm 12.03b	26.82 \pm 1.51c	232.34 \pm 10.03d
	ST	2 829.63 \pm 34.31b	29.98 \pm 1.25b	249.92 \pm 5.14c
	MT	2 912.37 \pm 92.07b	27.79 \pm 0.58c	272.30 \pm 5.61b
	DS	3 281.87 \pm 62.98a	33.27 \pm 1.74a	328.53 \pm 6.10a

双季累计来看,DS 处理的排水量显著高于其他处理;不同处理总氮排放量和总磷排放量均以 DS 处理最高,ST 或 MT 处理次之,HT 处理最低,且 DS 处理较 HT、ST、MT 分别显著高出 24.05%、10.97%、

19.72% 和 41.40%、31.45%、20.65%。

2.4 温室气体排放效应

2.4.1 不同种植方式对稻田温室气体排放效应的影响 如表 4 所示,在 CH_4 排放方面,早稻 CH_4 排放量的变化趋势为 $\text{DS} > \text{MT} > \text{HT} > \text{ST}$,晚稻为 $\text{ST} > \text{MT} > \text{DS} > \text{HT}$,双季则为 $\text{DS} > \text{MT} > \text{ST} > \text{HT}$,DS 处理的双季累计 CH_4 排放量较其他处理显著增加 4.32%~6.67%。在 CO_2 排放方面,不同处理早稻季、晚稻季和双季的 CO_2 排放量均以 DS 处理最高,HT 处理最低,且两者间差异均达到显著水平,其中双季累计条件下 DS 处理较 HT、ST、MT 分别显著增加 14.47%、3.34%、11.11%。在 N_2O 排放方面,早稻季、晚稻季、双季不同处理稻田 N_2O 排放量变化趋势一致,均表现为 $\text{ST} > \text{DS} > \text{MT} > \text{HT}$,HT 较 ST、MT、DS 分别减少 5.20%~13.10% (早稻)、6.17%~12.64% (晚稻)、5.70%~12.87% (双季)。

2.4.2 不同种植方式对稻田综合温室效应的影响 由表 5 可知,早稻季 DS 处理的全球增温潜势显

表 4 不同种植方式稻田温室气体排放量					kg/hm^2
稻季	处理	CH_4 排放量	CO_2 排放量	N_2O 排放量	
早稻	HT	401.11 \pm 8.41bc	9 223.24 \pm 359.74b	0.73 \pm 0.03b	
	ST	390.92 \pm 6.23c	10 328.52 \pm 396.07a	0.84 \pm 0.02a	
	MT	410.10 \pm 10.45b	9 295.30 \pm 398.05b	0.77 \pm 0.02b	
	DS	441.96 \pm 5.22a	10 666.86 \pm 310.33a	0.82 \pm 0.03a	
晚稻	HT	295.03 \pm 4.52b	3 575.53 \pm 221.32b	0.76 \pm 0.03c	
	ST	308.47 \pm 19.27a	3 848.71 \pm 182.55ab	0.87 \pm 0.04a	
	MT	301.70 \pm 7.94a	3 890.61 \pm 171.40ab	0.81 \pm 0.03b	
	DS	300.59 \pm 5.14a	3 983.79 \pm 106.66a	0.82 \pm 0.04b	
双季	HT	696.14 \pm 22.92b	12 798.77 \pm 581.06c	1.49 \pm 1.48c	
	ST	699.39 \pm 13.05b	14 177.23 \pm 578.61ab	1.71 \pm 0.05a	
	MT	711.80 \pm 18.39ab	13 185.91 \pm 769.45bc	1.58 \pm 0.05bc	
	DS	742.55 \pm 10.36a	14 650.65 \pm 416.98a	1.64 \pm 0.06ab	

著高于其他处理,较 HT、ST、MT 处理的增加幅度为 7.74% ~12.64%;晚稻季不同处理的全球增温潜势以 ST 处理最高,HT 处理最低,但各处理间差异不显著;双季累计的全球增温潜势和温室气体排放强度的变化规律均表现为 DS > MT > ST > HT,且 DS

处理较 HT、ST、MT 处理分别增加 6.74%、5.88%、4.31%和 21.37%、13.15%、9.23%。说明双季稻采用手工插秧有利于降低综合温室效应,而直播则会加剧稻田的温室效应。

表 5 不同种植方式综合温室效应

处理	全球增温潜势(CO ₂ kg/hm ²)			温室气体排放强度(CO ₂ - eq kg/kg)
	早稻	晚稻	双季	双季
HT	10 245.43 ±202.24bc	7 603.00 ±355.76a	17 848.43 ±558.00b	2.34 ±0.09b
ST	10 024.44 ±160.48c	7 969.82 ±472.54a	17 994.26 ±312.06b	2.51 ±0.07a
MT	10 480.78 ±256.90b	7 784.56 ±189.69a	18 265.34 ±446.59b	2.60 ±0.08b
DS	11 292.01 ±137.40a	7 779.32 ±303.49a	19 051.93 ±275.52a	2.84 ±0.07a

2.5 不同种植方式产量与环境效应相关分析

通过产量与环境效应指标的相关分析(表 6)可知,不同种植方式下,水稻产量与磷素内部利用效率呈正相关,与水分利用效率、植株氮素内部利用效率呈显著正相关;水稻产量与稻田径流总氮排放量、总磷排放量均呈极显著负相关,相关系数分别达到 -0.959 和 -0.933;水稻产量与全球增温潜势($r = -0.742^*$)、温室气体排放强度($r = -0.886^{**}$)分别达到显著、极显著负相关。说明通过种植方式提高水稻产量可以提高水分利用效率,促进氮磷养分吸收利用,从而减少稻田养分的径流损失以及温室气体的排放。

表 6 产量与主要环境效应相关分析

指标	与产量的相关系数
水分利用效率	0.739 *
氮素内部利用效率	0.737 *
磷素内部利用效率	0.607
总氮排放量	-0.959 **
总磷排放量	-0.933 **
全球增温潜势	-0.742 *
温室气体排放强度	-0.886 **

注: *、** 分别表示显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)相关。

3 讨论与结论

不同稻作模式的栽培技术不同,水稻生育期及其所生长的温光环境条件各异,从而导致水稻生长发育和产量水平存在一定差异^[13]。张坤等研究了移栽方式下水稻产量的变化规律,其最终产量表现为手工栽插 > 抛秧 > 机插^[14]。刘成立研究表明,不同种植方式的水稻产量以机直播处理最低,人工栽

秧次之,机插方式最高^[15]。李杰等研究认为,不同种植方式的水稻产量均以直播方式最低^[5,16]。周红英等研究认为,水稻采用手工栽插和抛秧方式的产量最高,机插其次,直播最低^[17-18]。上述研究普遍认为不同种植方式水稻的产量总体上以手工插秧最高、直播最低,这与本研究结果一致,即手工插秧 > 抛秧(或机插) > 直播。但也有研究认为,直播处理的产量最高^[19-20],这可能与水稻种类以及试验期间的气候条件有关,单季稻较双季稻生育期的光热适宜且易避免倒春寒和寒露风等气象灾害的影响,从而获得高产。

水肥吸收利用决定着水稻的产量,也直接影响着稻田生态环境。相关研究表明,水稻水分管理与吸收利用会随着种植方式的改变而发生变化^[9,13,21-23]。冀俊超研究表明,虽然直播处理的产量低于手工栽插,但因其全生育期耗水量显著下降,从而使得水分利用效率显著提高^[21]。陶冶研究认为,直播处理在增加水稻产量的同时,还能够提高水分利用效率^[23]。本研究则表明,早晚稻直播处理的水分利用效率显著低于手工插秧处理(减幅分别为 19.38% 和 19.62%),其原因主要是直播方式下早晚稻耗水量较手工插秧高,而产量又低于手工插秧处理。目前,针对不同稻作模式的氮磷吸收利用的研究结果^[9,22,24]不尽相同。徐国伟研究认为,成熟期植株氮积累量直播稻高于移栽稻^[25];而李杰的试验则表明,水稻手工插秧方式的氮素吸收利用率显著高于机插,且极显著高于直播^[26];王春雨的研究表明,人工插秧方式在提高水稻氮素农艺利用率和氮收获指数的同时,也促进了磷素的吸收利用^[27]。本研究也认为手工插秧的氮磷养分利用效

率和收获指数较直播处理显著增加。前人研究普遍认为,农田排水的增加和水肥利用效率的下降均会加大氮磷流失的风险^[28-30]。在本研究中,不同种植方式的氮磷径流排放量均以排水量最大且水分和氮磷养分利用效率最低的直播处理最高,这与前人研究相一致。

水稻生长的时空环境随种植方式的改变而发生变化,并可能影响到稻田土壤性状和稻株自身生长,进而对 CH_4 和 N_2O 的排放产生不同程度的影响。张岳芳等研究表明,与手工插秧相比,机插处理的稻田 CH_4 排放总量增加了 14%, N_2O 排放总量减少了 11%,整个水稻季 CH_4 和 N_2O 排放的总全球增温潜势(GWP)和温室气体排放强度(GHGI)分别增加 8% 和 10%^[31]。马永跃等研究认为,双季稻不同种植方式稻田 CH_4 排放通量变化趋势为抛秧 < 手工插秧 < 直播 < 机插,而 N_2O 排放通量和综合温室效应均表现为手工插秧 < 机插 < 抛秧 < 直播^[32-33]。本研究表明,双季稻田 N_2O 排放量的大小规律为手工插秧 < 机插 < 直播 < 抛秧, CH_4 排放量、GWP 和 GHGI 则均以手工插秧最低、直播最高,这可能与不同种植方式的水稻群体密度有关^[34],即水稻种植密度高,茎叶数多,根量大,从而加快了甲烷的传输和排放。本研究 4 种不同种植方式的种植密度大小顺序为直播 > 抛秧 > 机插 > 手工插秧,因此,手工栽插方式表现出较好的温室气体减排效应,而直播方式导致了温室气体排放和温室效应的增加。

手工插秧能够在水分消耗较少的前提下获得较高的产量,有利于提高水肥利用效率,减少排水量、氮磷径流排放量以及 CH_4 、 CO_2 和 N_2O 的累计排放量。直播方式在获得较低产量的同时,却增加了灌水量、耗水量、氮磷地表径流排放量以及温室气体排放量,加剧了温室效应。本研究认为不同水稻种植方式的生态效应以手工插秧最优,抛秧或机插次之,直播相对较差。

参考文献:

- [1] 王晓煜,杨晓光,吕 硕,等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅱ. 气候变暖对黑龙江寒地水稻安全种植区域和冷害风险的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(10):1859-1871.
- [2] 潘晓华,李木英,曾勇军,等. 江西双季稻主要种植方式及其配套栽培对策[J]. 江西农业大学学报,2013,35(1):1-6.
- [3] 耿兴业. 水稻高产栽培探讨[J]. 现代农业科技,2019(8):31,33.
- [4] Ullah H, Mohammadi A, Datta A. Growth, yield and water productivity of selected lowland Thai rice varieties under different cultivation methods and alternate wetting and drying irrigation[J]. Annals of Applied Biology,2018,173(3):302-312.
- [5] 李 杰,杨洪建,孙统庆,等. 江苏省不同种植方式水稻产量效益分析及应用评价[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):520-523.
- [6] 张文锋,时 红,才 硕,等. 不同灌溉和栽培方式对红壤性水稻土微生物群落结构及多样性的影响[J]. 江西农业学报,2018,30(3):11-16.
- [7] 徐志红,李俊凯. 不同栽培方式稻田杂草发生特点及防控措施[J]. 长江大学学报(自科版),2016,13(33):1-3.
- [8] 吕 亮,张 舒,常向前,等. 栽培模式对水稻主要害虫种群发生动态的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(4):93-96.
- [9] 霍中洋,李 杰,张洪程,等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性[J]. 作物学报,2012,38(10):1908-1919.
- [10] 杭晓宁. 稻作方式和秸秆还田对稻麦产量和温室气体排放的影响研究[D]. 南京:南京农业大学,2015:96-98.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:25-200.
- [12] Zhang X X, Xu X, Liu Y L, et al. Global warming potential and greenhouse gas intensity in rice agriculture driven by high yields and nitrogen use efficiency[J]. Biogeosciences,2016,13(9):2701-2714.
- [13] 才 硕,时 红,时元智,等. 种植方式变化下双季稻田氮素平衡及环境效应研究进展[J]. 安徽农业科学,2020,48(17):1-3,7.
- [14] 张 坤,吕伟生,段里成,等. 机插对晚稻栽后秧苗生长和生育期的影响[J]. 作物杂志,2016(5):112-118.
- [15] 刘成立. 不同种植方式对水稻生长的影响研究[J]. 安徽农学通报,2018,24(16):45,63.
- [16] 谢成林,姚 义. 种植方式对梗稻武运梗 24 号生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):51-54.
- [17] 周红英,蒋继武,何立斌,等. 不同种植方式对丰两优香 1 号产量及生长发育的影响[J]. 杂交水稻,2015,30(1):34-38.
- [18] 苏昌龙,李 敏,钟芳芳,等. 不同种植方式对杂交水稻生产力的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(12):35-38.
- [19] 厉 波,曹当阳. 不同种植方式对黔东南水稻土壤养分及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(5):64-67.
- [20] 池忠志,姜心禄,郑家国. 不同种植方式对水稻产量的影响及其经济效益比较[J]. 作物杂志,2008(2):73-75.
- [21] 冀俊超. 不同水分管理对旱直播水稻生长生理特性与温室气体排放的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021:49.
- [22] 周文涛,龙文飞,戴 炜,等. 节水条件下不同种植方式对晚稻氮素吸收积累的影响[J]. 华北农学报,2019,34(3):147-154.
- [23] 陶 冶. 不同种植方式下水稻产量、水氮利用效率及稻田温室气体排放比较研究[D]. 武汉:华中农业大学,2016.
- [24] Yang Z Y, Li N, Ma J, et al. High-yielding traits of heavy panicle varieties under triangle planting geometry: a new plant spatial configuration for hybrid rice in China[J]. Field Crops Research,2014,168:135-147.

刘德坤,张雅芬,骆瑶倩,等.机械深施基肥对麦季氮肥利用效率的影响[J].江苏农业科学,2022,50(17):235-240.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.038

机械深施基肥对麦季氮肥利用效率的影响

刘德坤^{1,2},张雅芬^{1,2},骆瑶倩³,郭 智^{1,4},张岳芳^{1,4},刘红江^{1,4}

(1.江苏省农业科学院句容稻米产业研究院,江苏镇江 212444;

2.江苏省句容市后白镇农业农村局,江苏镇江 212444; 3.江苏省句容市农技推广中心,江苏句容 212400;

4.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部长江下游平原农业环境重点实验室,江苏南京 210014)

摘要:通过大田小区试验,以扬麦 19 为供试品种,探索机条播小麦的同时机械深施基肥对小麦产量构成及氮肥利用效率的影响。2 季研究表明,与农民常规施肥比较,机条播小麦时机械深施基肥,氮肥施用量减少 15%,小麦产量平均降低 0.67%,处理间差异不显著。基肥深施减氮处理虽然使小麦的生物产量平均下降 4.06%,但较高的经济系数保证了其产量与农民常规施肥基本持平。不同年度基肥深施减氮处理与农民常规施肥处理间小麦氮素累积量差异较为明显。基肥深施减氮处理使小麦氮素籽粒生产效率降低,但对小麦氮素收获指数未见明显影响。深施减氮处理使小麦氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力平均提高幅度分别达 16.17%、22.79% 和 16.85%,处理间的差异均达显著水平。采用机械深施基肥配合减量施氮,小麦不同生育时期麦田土壤速效氮含量均表现为显著提高。说明机械条播小麦时同步深施基肥并减施氮肥 15%,提高了麦田土壤速效氮含量和麦季氮肥吸收利用效率,并获得了较高水平的小麦产量。

关键词:氮肥减量;小麦产量;土壤速效氮;氮素累积量;氮肥利用效率

中图分类号: S512.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)17-0235-06

小麦是我国三大主要粮食作物之一,统计数据表明,2018 年我国小麦种植面积为 2 430 万 hm^2 ^[1]。黄淮海平原是我国小麦主产区,近年来随着优质高产新品种的不断育成,以及配套栽培技术的不断进

步,小麦产量水平获得了持续提高,高产小麦产量已达到 8.7 t/hm^2 ^[2]。在小麦产量提高的同时,麦季的肥料施用量也在逐步增加,部分高产麦田的纯氮施用量达到 360 kg/hm^2 ^[3]。据报道,我国小麦等主要作物的氮肥利用率只有 30% 左右,远低于发达国家水平^[4]。农田大量施用氮肥,除了增加生产成本、降低经济效益外^[5],也带来了诸多环境问题,如加速土壤酸化^[6-7]、加剧农田温室效应^[8]、增加农业生产的面源污染风险^[9-10]等。前人关于麦田化肥减量增效技术的研究,主要集中在秸秆还田^[11]、适期播种^[12]、合理密植^[13]、优化肥料运筹^[14]、有机无

收稿日期:2021-10-12

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)项目(编号:BE2019377);镇江市农技推广项目[编号:ZJNJ(2020)03]。

作者简介:刘德坤(1983—),男,江苏滨海人,硕士,高级农艺师,研究方向为稻麦优质绿色栽培与植物保护。E-mail:cola520@126.com。

通信作者:刘红江,博士,副研究员,主要从事农业生态和稻麦栽培生理生态研究。E-mail:LiuHongjiang2004@sohu.com。

[25]徐国伟.种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D].扬州:扬州大学,2007:83-85.

[26]李 杰.不同种植方式水稻群体生产力与生态生理特征的研究[D].扬州:扬州大学,2011:137-139.

[27]王春雨.不同种植方式下氮素水平对杂交水稻根系形态及养分吸收特性的影响[D].雅安:四川农业大学,2018:47-48.

[28]甘曼琴,刘佩诗,黄 瑜,等.稻田氮磷流失控制技术[J].环境监测管理,2020,32(2):8-11,21.

[29]Cai S, Shi H, Pan X H, et al. Integrating ecological restoration of agricultural non-point source pollution in Poyang Lake Basin in China[J]. Water, 2017, 9(10):745.

[30]晏 军,吴启侠,朱建强,等.基于稻田控水减排的氮肥运筹试验研究[J].水土保持学报,2018,32(2):229-236,245.

[31]张岳芳,陈留根,王子臣,等.稻麦轮作条件下机插水稻 CH_4 和 N_2O 的排放特征及温室效应[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1403-1409.

[32]马永跃.品系、施肥和栽培方式对福州平原稻田甲烷和氧化亚氮通量的影响[D].福州:福建师范大学,2013:55-56.

[33]林 芳,王 纯,王维奇,等.栽培方式对福州平原稻田氧化亚氮减排的研究[J].实验技术与管理,2014,31(6):58-62.

[34]曹云英,朱庆森,郎有忠,等.水稻品种及栽培措施对稻田甲烷排放的影响[J].江苏农业研究,2000,21(3):22-27.