

王煜杰,杨秀霞,樊隐玲,等. 深翻后施肥对头季-再生季水稻产能和氮素吸收利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(24):72-78.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.24.011

深翻后施肥对头季-再生季水稻产能 和氮素吸收利用效率的影响

王煜杰^{1,2}, 杨秀霞², 樊隐玲^{1,2}, 李梦涛^{1,3}, 朱震昊¹, 陶永乐⁴, 赵书军¹, 徐大兵¹

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所,湖北武汉 430064; 2. 江西农业大学国土资源与环境学院,江西南昌 330045;

3. 湖北大学生命科学学院,湖北武汉 430062; 4. 长江大学生命科学学院,湖北荆州 434025)

摘要:为揭示深翻对头季-再生季水稻产能和氮素吸收利用效率的影响,以及深翻后如何调整化学肥料用量,于2023年3—10月在湖北省洪湖市开展田间试验,研究旋耕和深翻模式下不同化肥用量对头季-再生季水稻产量构成、氮素吸收和利用效率的影响。结果表明,与旋耕相比,深翻后常规施肥量减少30%(70% NPK)、常规施肥(NPK)和常规施肥量增加30%(130% NPK)处理周年水稻产量分别增加5.03%、8.56%和14.26%,这主要是由于头季稻每穗粒数的增加。旋耕模式下施肥量对周年水稻产量的影响较小,而深翻后随着施肥量的增加,周年水稻产量也逐渐增加。深翻后,70% NPK、NPK 和 130% NPK 处理周年水稻干物质累积量比旋耕分别增加20.75%、15.79%和28.14%;不论旋耕还是深翻,施肥量对周年水稻干物质累积量的影响较小。不论旋耕还是深翻,随着施肥量的增加,周年水稻氮素累积量在逐渐增加,深翻后,70% NPK、NPK 和 130% NPK 处理周年水稻氮素累积量比旋耕分别增加22.20%、19.14%和29.68%。深翻后,70% NPK 和 NPK 处理周年水稻氮肥农学利用率比旋耕降低36.09%和18.93%,但是130% NPK 处理则增加42.24%。随着施肥量的增加,周年水稻氮肥偏生产力降低,不同耕作模式间差异较小。在当地常规施肥量条件下,与旋耕相比,深翻能够增加周年水稻产量,且深翻后减少30%施肥量对周年水稻产量影响较小,而增加30%施肥量仍然有较好的增产效果。

关键词:头季稻;再生稻;耕作方式;肥料运筹;水稻产能;氮素利用率

中图分类号:S511.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)24-0072-07

旋耕是目前农业生产中普遍利用的耕作方式

之一,能够有效疏松耕层土壤,降低土壤容重,但是长期旋耕会造成犁底层加厚、耕层变浅、作物根系难以下扎,进而影响作物生长发育和养分吸收。有研究表明,耕层变浅后会导致水稻对肥料的需求越发强烈,增产潜力下降,产量难以提升^[1]。为加深耕层,构建合理的耕层结构,国内外众多学者在秸

收稿日期:2024-07-25

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD190120403)。

作者简介:王煜杰(1999—),男,河南三门峡人,硕士研究生,主要从事水稻养分管理研究。E-mail:19526222089@163.com。

通信作者:徐大兵,博士,副研究员,主要从事土壤连作障碍修复研究。E-mail:xudb@hbaas.ac.cn。

[21] 张晓申,韩燕丽,樊永强,等. 基于灰色关联度和 DTOPSIS 法对谷子区域试验的综合评价[J]. 种子,2022,41(9):121-126,133.

[22] 宋中强,张文川,王 帅,等. 基于熵权法赋权的 DTOPSIS 法和模糊评价法综合评价谷子区试品种[J]. 江苏农业科学,2023,51(16):49-54.

[23] 王淑君,解慧芳,邢 璐,等. 基于主成分分析和灰色关联度分析的谷子品种(系)综合评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):42-49.

[24] 叶开梅,牛力立,樊祖立,等. 灰色关联度法与 DTOPSIS 法在马铃薯品种综合评价中的应用比较[J]. 贵州农业科学,2023,51(3):10-18.

[25] 邵美红,程 楚,程思明,等. 运用 DTOPSIS 法对鲜食甜玉米新

品种在浙西北地区适应性的综合评价[J]. 江西农业学报,2017,29(6):25-28.

[26] 郑 峰,王忠明,王 迪,等. 基于变异系数权重法评价干燥无花果多糖品质[J]. 保鲜与加工,2019,19(4):119-124.

[27] 蒋自可,王淑君,解慧芳,等. 基于灰色关联度和聚类分析的谷子品种(系)综合评价与筛选[J]. 农业科技通讯,2023(1):27-30,35.

[28] 刘自远,刘成福. 综合评价中指标权重系数确定方法探讨[J]. 中国卫生质量管理,2006,13(2):44-46,48.

[29] 刘 群,冯长焕. 一种新的最优权重系数组合赋权法[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版),2015,29(6):1-4.

[30] 刘晓玥,杜 燕,郑小贤. 不同赋权法的将乐林场常绿阔叶林的健康评价[J]. 森林与环境学报,2015,35(2):141-146.

秆还田、机械深松、稻田深翻整地等方面进行了大量的研究^[2-3],其中陈梦楠等的研究表明,深翻能够改良土壤结构,促进水稻生长,提高水稻产量^[4]。然而,深翻也不能连年进行,连年深翻耕作可能会造成一些负面影响^[5]。邓妍等研究发现,频繁扰动土层会造成土壤水分大量流失,而且往往会把过多生土翻上来,导致耕层养分不足,进而造成作物减产^[6]。稻田耕作制度是整个农田耕作制度的重要组成部分,在增加稻谷生产、维护粮食安全方面发挥着重要的、不可替代的作用,通过对稻田耕作制度进行不断调整与改革,实现稻田生态系统的经济效益、社会效益和生态效益同步增长、协调发展,是值得研究和探索的紧迫问题。于淑婷等研究发现,深翻对于改善土壤结构、提高土壤肥力有显著效果,将深翻等耕作措施进行轮流实施可能是解决旋耕弊端的有效途径^[7]。有时候仅仅依靠深翻并不能增产,还需要配合采取其他措施,比如秸秆还田、有机肥配施、生物耕作、绿肥还田等^[7-8]。王瑾瑜等研究发现,深翻 20 cm 可增加耕层厚度,显著降低 0~20 cm 耕层土壤容重与紧实度,且耕作深度为 20 cm 时,结合有机无机培肥,可在改良稻田土壤紧实化的同时减少水分、养分流失,可作为一种有效的稻田土壤培肥和耕层构建模式^[8]。

目前,国内对于稻田深翻的研究主要集中在东北黑土区域。地处长江中下游的江汉平原,作为我国的水稻主产区之一,由于常年旋耕,导致耕层普遍变浅,犁底层增厚,然而目前有关深翻在拓深耕层厚度、增加水稻产能方面的研究尚不多见。因此,本研究以头季、再生季水稻为研究对象,探讨常规旋耕和深翻模式下化肥减量对水稻产量构成、氮素吸收和利用效率的影响,以期对瘠薄型中低产田的改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于湖北省洪湖市乌林镇四屋门村(113°47.5'98.0"E,29°82.5'45.8"N),年均气温 16.6℃,年均降水量 1 060.1 mm,无霜期 332 d。供试土壤为长江冲积物发育的水稻土,0~20 cm 土层基本理化性质为:pH 值 6.20、有机质含量 32.00 g/kg、碱解氮含量 129.80 mg/kg、有效磷含量 17.50 mg/kg、速效钾含量 109.20 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置 2 种耕作方式:旋耕(12 cm,记作 RT)

和深翻(20 cm,记作 DP)。设置 8 个处理:处理 1,旋耕+不施氮肥,磷钾肥同常规施肥(RT+PK);处理 2,旋耕+70% 常规施肥(RT+70% NPK);处理 3,旋耕+常规施肥(全生育期纯氮、纯磷、纯钾)(RT+NPK);处理 4,旋耕+130% 常规施肥(RT+130% NPK);处理 5,深翻 20 cm+不施氮肥,磷钾肥同常规施肥(DP+PK);处理 6,深翻 20 cm+70% 常规施肥(DP+70% NPK);处理 7,深翻 20 cm+常规施肥(DP+NPK);处理 8,深翻 20 cm+130% 常规施肥(DP+130% NPK)。每个处理设置 3 个重复,随机区组排列。每个小区在施肥前单独做好田埂,田埂高出田面 20 cm,田埂间沟宽 50 cm,小区面积 20 m²(5 m×4 m),保护行宽 2 m。

试验于 2023 年 3 月 28 日播种育苗,4 月 25 日人工移栽(密度为 16 万株/hm²),8 月 9 日收获头季稻,头季稻收割时留桩 45 cm,10 月 28 日收获再生稻。施肥情况如表 1 所示。田间病虫害管理同当地常规操作一致。

表 1 施肥情况

处理	头季			再生季		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
RT+PK	0	90.0	105.0	0	0	0
RT+70% NPK	136.0	63.0	73.5	73.5	0	0
RT+NPK	195.0	90.0	105.0	105.0	0	0
RT+130% NPK	253.5	117.0	136.5	136.5	0	0
DP+PK	0	90.0	105.0	0	0	0
DP+70% NPK	136.5	63.0	73.5	73.5	0	0
DP+NPK	195.0	90.0	105.0	105.0	0	0
DP+130% NPK	253.5	117.0	136.5	136.5	0	0

1.3 样品采集与测定方法

1.3.1 水稻地上部干物重 分别于水稻移栽后 100 d(头季成熟期)和 180 d(再生季成熟期),齐地收割地上部植株,分器官(茎、叶、穗)于 105℃ 下杀青 30 min,70℃ 下烘干至恒重,称取不同部位干物重。

1.3.2 产量及产量构成因子的测定 水稻收获时,每个小区全部收割测产,收割后脱粒并将稻谷晒干,清除杂质和空瘪粒后称量稻谷重量。从小区内选 1 处代表性区域取 10 莖测定产量构成因子,记录有效穗数,再将植株其余部分分为茎、叶、穗在 105℃ 下杀青 30 min 后,在 70℃ 下烘干至恒重,用于最后计算每穗粒数、结实率、千粒重,具体计算公式如下:

每穗粒数=(实粒数+瘪粒数)/穴穗数;

结实率 = 饱粒数 / (饱粒数 + 瘪粒数) × 100% ;

千粒重 = 实粒重 / 实粒数 × 1 000。

1.3.3 氮素吸收与氮素利用效率 将烘干样品粉碎过筛后,采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 进行消煮,连续流动分析仪(AA3,Seal 公司,德国)测定全氮含量,根据样品干重计算氮素积累量和氮肥吸收利用率。计算公式如下:

氮素积累量 = 干物质积累量 × 养分含量;

氮肥农学利用率(AEN) = $(Y - Y_0) / F$;

氮肥偏生产力(PFPN) = Y / F 。

式中:Y 为施氮后所获得的作物产量; Y_0 为不施氮处理作物的产量;F 代表氮肥的投入量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 26.0 对各项数据进行方差分析和显著性检验(用 LSD 进行组间差异性检验),采用 Origin 2022 绘制图形。

2 结果与分析

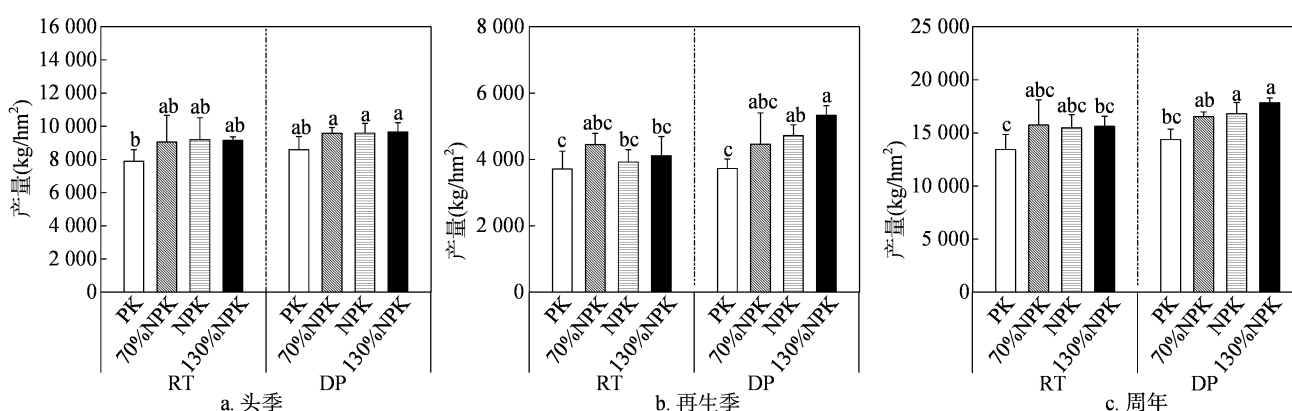
2.1 产量及产量构成因子

2.1.1 水稻产量 对于头季稻而言,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的产

量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 8.79%、5.74%、4.22%、5.60%,但处理间差异均不显著。不论在 RT 还是在 DP 条件下,不同施肥处理间水稻产量差异均不显著(图 1-a)。

对于再生稻而言,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的产量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 0.45%、0.19%、20.43%、29.62%;RT + NPK 处理的产量比 RT + 70% NPK 处理降低 11.99%,比 RT + 130% NPK 处理降低 4.66%;DP + NPK 处理的产量比 DP + 70% NPK 处理提高 5.79%,比 DP + 130% NPK 处理降低 11.42%(图 1-b)。

对于周年水稻产量来说,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的产量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 7.01%、5.03%、8.56%、14.26%;RT 耕作模式下各处理间差异均不显著;DP + NPK 的产量比 DP + 70% NPK 处理提高 1.72%,比 DP + 130% NPK 处理降低 6.15%。耕作和施肥对头季稻、再生稻以及周年产量均无显著互作效应(图 1-c)。



柱上不同小写字母表示同一年处理间在 5% 水平上差异显著。图 2、图 3 同

图1 头季-再生季水稻产量以及周年产量

2.1.2 头季和再生季水稻产量构成因子 由表 2 可见,从有效穗数来看,头季稻在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理提高 5.48% 和 16.19%;再生稻在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理提高 22.34% 和 17.36%。头季稻的千粒重在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理增加 1.15% 和 2.06%。再生稻的每穗粒数在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理分别比 RT + 70% NPK 和 RT +

130% NPK 处理增加了 12.61% 和 3.48%;再生稻的每穗粒数在 DP 耕作模式下,DP + NPK 处理分别比 DP + 70% NPK 和 DP + 130% NPK 处理增加 34.54% 和 7.52%。方差分析结果表明,对于头季稻,不同耕作方式对每穗粒数影响显著,耕作与施肥 2 个因子之间有显著互作效应;对于再生稻,不同耕作方式对有效穗数影响显著。

2.2 头季和再生季水稻收获期地上部干物质积累量

对于头季稻而言,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的地上部干物质积

表 2 头季稻和再生稻产量构成因子

水稻 种植阶段	处理	有效穗数 (个/蔸)	千粒重 (g)	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)
头季	RT + PK	13.67 ± 2.91b	27.17 ± 0.46ab	109.07 ± 30.21b	82.30 ± 8.57ab
	RT + 70% NPK	19.53 ± 3.97a	26.90 ± 0.55ab	119.87 ± 25.23b	89.00 ± 4.52a
	RT + NPK	20.60 ± 3.93a	27.21 ± 0.43ab	113.47 ± 13.96b	90.00 ± 1.26a
	RT + 130% NPK	17.73 ± 2.00ab	26.66 ± 0.51ab	115.67 ± 45.10b	87.53 ± 6.51ab
	DP + PK	13.40 ± 3.27b	28.00 ± 0.71a	192.13 ± 22.64a	86.12 ± 3.96ab
	DP + 70% NPK	13.60 ± 0.72b	26.35 ± 0.88b	111.60 ± 11.15b	88.27 ± 3.13a
	DP + NPK	16.00 ± 4.89ab	26.38 ± 0.52b	118.67 ± 30.73b	87.92 ± 3.64ab
	DP + 130% NPK	17.80 ± 0.72ab	27.51 ± 1.18ab	134.00 ± 16.49b	92.98 ± 3.04a
再生季	RT + PK	12.87 ± 1.85b	27.07 ± 0.48ab	55.00 ± 22.69c	86.14 ± 7.51ab
	RT + 70% NPK	15.80 ± 5.1ab	27.70 ± 1.04ab	68.20 ± 8.15c	87.69 ± 1.39ab
	RT + NPK	19.33 ± 1.85a	25.81 ± 0.42b	76.80 ± 18.03c	79.19 ± 5.92b
	RT + 130% NPK	16.47 ± 2.14ab	26.58 ± 1.10ab	74.22 ± 10.62c	89.36 ± 2.15a
	DP + PK	13.67 ± 1.81b	27.12 ± 1.21ab	76.20 ± 17.01c	88.08 ± 2.56a
	DP + 70% NPK	13.80 ± 3.08b	26.69 ± 1.19ab	61.00 ± 8.90c	80.66 ± 6.64ab
	DP + NPK	13.80 ± 1.39b	27.72 ± 0.79ab	82.07 ± 17.62c	83.94 ± 3.97ab
	DP + 130% NPK	12.60 ± 3.61b	28.67 ± 2.19a	76.33 ± 23.53c	88.31 ± 1.93a
头季	耕作	ns	ns	*	ns
	施肥	ns	ns	ns	ns
	耕作 × 施肥	ns	ns	*	ns
再生季	耕作	*	ns	ns	ns
	施肥	ns	ns	ns	ns
	耕作 × 施肥	ns	ns	ns	ns

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 5% 水平上差异显著,下表同;* 表示在 0.05 水平作用显著;ns 表示不显著。

累量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 7.71%、27.75%、12.28%、27.88%;在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理的地上部干物质积累量分别比 RT + 70% NPK 和 130% NPK 处理增加 10.38% 和 15.12%;在 DP 耕作模式下,DP + NPK 处理的地上部干物质积累量比 DP + 70% NPK 处理减少 2.99%,比 DP + 130% NPK 处理增加 1.08% (图 2-a)。

对于再生稻而言,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的地上部干物质积累量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% 处理增加 22.16%、10.50%、22.03%、28.52%;在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理的地上部干物质积累量分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理减少 9.18% 和 3.80%;在 DP 耕作模式下,DP + NPK 处理的地上部干物质积累量分别比 DP + 70% NPK 和 DP + 130% NPK 处理减少 0.29% 和 8.66% (图 2-b)。对于周年干物质积累量而言,DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP +

130% NPK 处理的地上部干物质积累量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 12.96%、20.75%、15.79%、28.14%。不论在 RT 还是在 DP 条件下,70% NPK、NPK、130% NPK 这 3 种施肥处理间的差异均不显著。方差分析结果表明,耕作和施肥对头季稻收获期、再生稻收获期以及周年水稻地上部干物质积累量均无显著互作效应 (图 2-c)。

2.3 头季稻和再生稻收获期地上部氮素积累量

对于头季稻而言,DP + PK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的地上部氮素积累量分别比 RT + PK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 4.75%、10.70% 和 25.41%;在 RT 耕作模式下,RT + NPK 处理的地上部氮素积累量比 RT + 70% NPK 减少了 7.22%,比 RT + 130% NPK 增加了 3.88%;在 DP 耕作模式下,DP + NPK 处理的地上部氮素积累量比 DP + 70% NPK 处理增加 30.13%,比 DP + 130% NPK 处理减少 8.30% (图 3-a)。

对于再生稻而言,DP + PK、DP + 70% NPK、

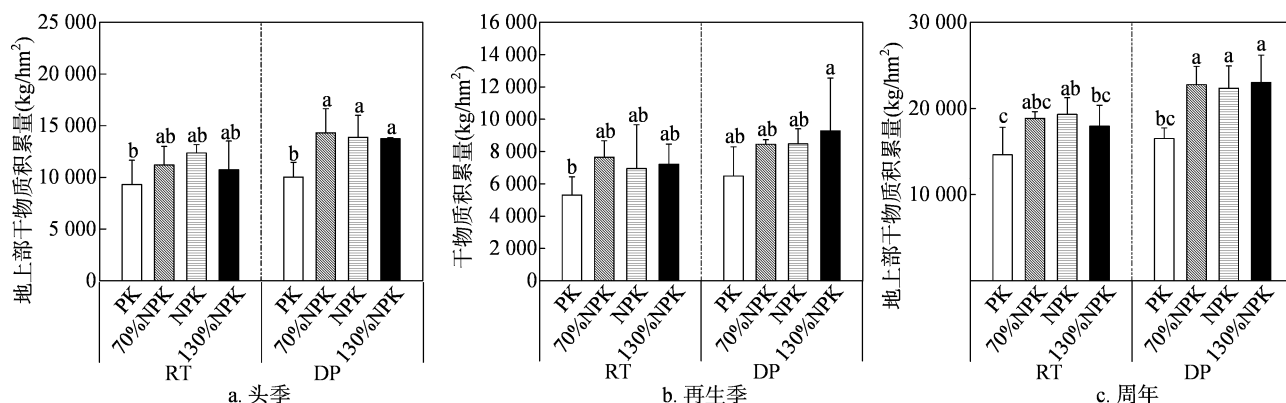


图2 收获期头季再生季水稻地上干物质积累量

DP + NPK、DP + 130% NPK 处理的地上部氮素积累量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 37.45%、13.14%、39.52% 和 38.20%；在 RT 耕作模式下，RT + NPK 处理的地上部氮素积累量分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理减少 2.48% 和 14.20%；在 DP 耕作模式下，DP + NPK 处理的地上部氮素积累量比 DP + 70% NPK 处理增加 20.27%，比 DP + 130% NPK 处理减少 13.38%（图 3 - b）。

对于周年水稻地上部氮素积累量而言，DP + PK、DP + 70% NPK、DP + NPK、DP + 130% NPK 处理

的地上部氮素积累量分别比 RT + PK、RT + 70% NPK、RT + NPK、RT + 130% NPK 处理增加 16.62%、22.20%、19.14% 和 29.68%；在 RT 耕作模式下，RT + NPK 处理的地上部氮素积累量比 RT + 70% NPK 增加了 10.89%，比 RT + 130% NPK 处理减少了 2.15%；在 DP 耕作模式下，DP + NPK 处理的地上部氮素积累量比 DP + 70% NPK 处理增加 8.12%，比 DP + 130% NPK 则减少 10.11%。方差分析结果表明，耕作和施肥对头季稻收获期、再生稻收获期以及周年地上部氮素积累量均无显著互作效应（图 3 - c）。

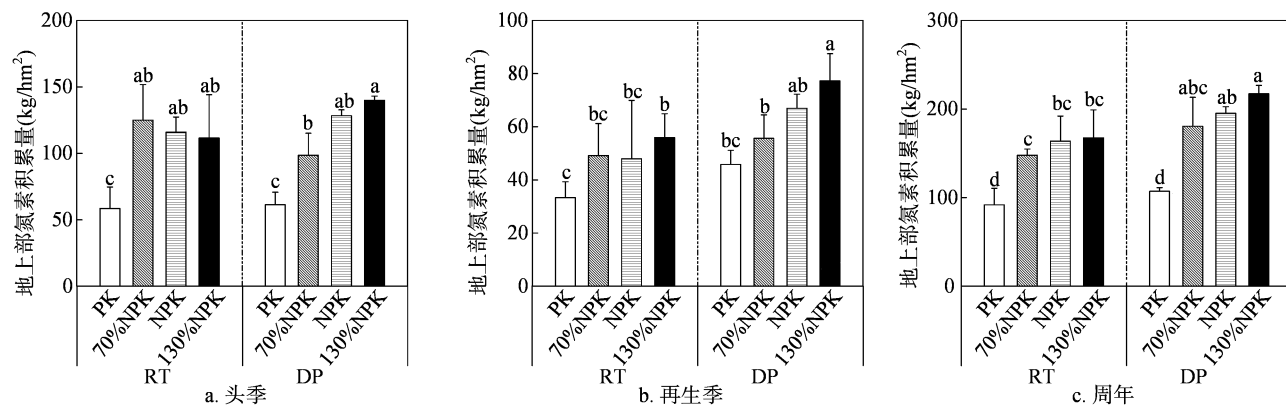


图3 收获期头季再生季水稻地上部氮素积累量

2.4 氮素利用率

2.4.1 氮肥农学利用率 在 RT 耕作模式下，RT + NPK 处理头季稻的氮肥农学利用率比 RT + 70% NPK 处理减少 35.55%，比 RT + 130% NPK 处理增加 57.10%；RT + NPK 处理再生稻的氮肥农学利用率分别比 RT + 70% NPK 和 RT + 130% NPK 处理减少 40.59% 和 6.91%；RT + NPK 处理周年水稻的氮肥农学利用率比 RT + 70% NPK 处理减少 21.33%，比 RT + 130% NPK 处理增加 85.92%。在 DP 耕作模式下，DP + NPK 处理头季稻的氮肥农学利用率比

DP + 70% NPK 处理减少 24.60%，比 DP + 130% NPK 处理增加 11.17%；DP + NPK 处理再生稻的氮肥农学利用率分别比 DP + 70% NPK 处理和 DP + 130% NPK 处理减少 3.69% 和 16.53%。对于周年水稻，在常规施肥的基础上，减少 30% 化肥用量对氮肥农学利用率没有显著影响，增加 30% 化肥用量氮肥农学利用率减少 5.63%（表 3）。

2.4.2 氮肥偏生产力 对于头季稻来说，RT + NPK 处理的氮肥偏生产力比 RT + 70% NPK 处理减少 28.24%，比 RT + 130% NPK 处理增加 30.65%；

表 3 氮肥农学利用率

处理	氮肥农学利用率 (kg/kg)		
	头季	再生季	周年
RT + 70% NPK	17.16 ± 5.37a	11.80 ± 1.70a	14.77 ± 3.40a
RT + NPK	11.06 ± 5.81ab	7.01 ± 1.19b	11.62 ± 0.54ab
RT + 130% NPK	7.04 ± 1.63b	7.53 ± 0.25b	6.25 ± 1.85c
DP + 70% NPK	11.75 ± 2.10ab	10.85 ± 2.55a	9.44 ± 0.76bc
DP + NPK	8.86 ± 2.58b	10.45 ± 1.88a	9.42 ± 1.43bc
DP + 130% NPK	7.97 ± 0.91b	12.52 ± 0.83a	8.89 ± 1.15bc

DP + NPK 处理的氮肥偏生产力比 DP + 70% NPK 处理减少 29.85%，比 DP + 130% NPK 处理增加 25.58%。对于再生稻来说，RT + NPK 处理的氮肥偏生产力比 RT + 70% NPK 处理减少 25.80%，比 RT + 130% NPK 处理增加 15.14%；DP + NPK 处理的氮肥偏生产力比 DP + 70% NPK 处理减少 38.51%，比 DP + 130% NPK 处理增加 23.95%。对于周年氮肥偏生产力来说，RT + NPK 处理比 RT + 70% NPK 处理减少 33.34%，比 RT + 130% NPK 处理增加 22.41%；DP + NPK 处理比 DP + 70% NPK 处理减少 32.19%，比 DP + 130% NPK 处理增加 25.17%（表 4）。

表 4 氮肥偏生产力

处理	氮肥偏生产力 (kg/kg)		
	头季	再生季	周年
RT + 70% NPK	82.64 ± 15.05a	60.57 ± 4.50a	79.25 ± 4.08a
RT + NPK	59.30 ± 7.44b	44.94 ± 3.10b	52.83 ± 2.22b
RT + 130% NPK	45.39 ± 1.63c	39.03 ± 2.11bc	43.16 ± 1.39c
DP + 70% NPK	88.38 ± 3.95a	60.69 ± 12.80a	78.69 ± 2.12a
DP + NPK	62.00 ± 4.43b	37.32 ± 3.58bc	53.36 ± 3.63b
DP + 130% NPK	49.37 ± 1.73bc	30.11 ± 4.23c	42.63 ± 0.67c

3 讨论

3.1 深翻后施肥对头季 - 再生季水稻产量及其构成因子的影响

众多研究表明，深翻能够提高水稻产量^[9-11]。在本研究中，常规施肥条件下，与旋耕相比，深翻处理头季稻、再生稻以及周年水稻产量分别增加 4.22%、20.43% 和 8.56%。这与前人的研究结果一致，其原因可能是深翻促进根系下扎生长，能够吸收较多养分而获得增产^[11]。陈敏等的研究表明，深翻后土壤养分含量低于旋耕处理，需要增加肥料的投入才能获得更高的产量^[12]。肥料的施用是作物高产稳产的保障，在深翻的基础上，通过优化施肥能够提高肥料利用率，从而增加水稻产量^[13-15]。

本研究设置 70% NPK、NPK（当地目前常规施肥量）、130% NPK 等 3 种不同的施肥量处理，深翻处理下 3 种施肥量处理的周年水稻产量分别比旋耕条件下增加 5.03%、8.56% 和 14.26%。由此可见，深翻后随着施肥量的增加，水稻产量逐渐增加。

研究表明，影响头季再生季水稻产量的关键构成因子主要是有效穗数、每穗粒数和结实率^[16-18]。在本研究中，影响头季再生季水稻产量的关键因子是每穗粒数和结实率，对于有效穗数和每穗粒数而言，在头季稻和再生稻上的表现不一，但是总体而言，与旋耕相比，深翻有增加有效穗数和每穗粒数的趋势，这与前人的研究结果^[19-21]一致。

3.2 深翻后施肥对头季 - 再生季水稻干物质积累量和氮素积累量的影响

干物质是衡量植物有机物积累、营养成分含量的一个重要指标。氮肥的施用是提高水稻生物量和产量的主要措施之一^[22-24]。本研究中，在 70% NPK、NPK 和 130% NPK 施肥条件下，深翻处理周年干物重比旋耕处理分别增加 20.75%、15.79% 和 28.14%，这是由于深翻为头季 - 再生季水稻生长提供了更好的土壤环境，使水稻更好地吸收养分和进行干物质积累与分配^[25-26]。在常规施肥的基础上，减少 30% 化肥用量或者增加 30% 化肥用量，对于干物质累积并没有显著的影响。

适宜的氮、磷、钾等营养元素能够增加水稻的生物量，提高干物质转运水平，为实现水稻高产奠定物质基础^[27]。本研究中，在常规施肥条件下，深翻分别比旋耕模式下的头季稻、再生稻以及周年氮素积累量增加 10.70%、39.52% 和 19.14%，这与前人的研究结果^[22]一致。深翻后在常规施肥的基础上，减少 30% 化肥用量处理头季和周年水稻氮素积累量分别减少 21.08% 和 11.42%，增加 30% 化肥用量后头季稻、再生稻以及周年氮素积累量分别增加 25.41%、38.19%、29.68%。由此可见，深翻后在常规施肥的基础上，增施 30% 化肥能够有效增加头季 - 再生季水稻的氮素积累量。

3.3 深翻后施肥对头季 - 再生季水稻氮素利用率的影响

氮肥农学利用率和氮肥偏生产力随着施肥量的降低而增加^[28-30]。深翻后在常规施肥的基础上，减少 30% 化肥用量处理头季稻、再生稻的氮肥农学利用率和氮肥偏生产力分别增加 32.62% 和 42.55%、3.83% 和 62.62%；在常规施肥的基础上，减少 30% 化

肥用量处理周年水稻氮肥偏生产力增加 47.47%, 氮肥农学利用率没有受到显著影响。深翻后, 70% NPK 和 NPK 处理周年水稻氮肥农学利用率比旋耕降低了 36.09% 和 18.93%, 但是深翻后 130% NPK 处理则增加了 42.24%。随着施肥量的增加, 周年水稻氮肥偏生产力显著降低, 不同耕作模式间差异较小。

4 结论

旋耕模式下施肥量对周年水稻产量的影响较小, 而深翻后随着施肥量的增加, 周年水稻产量也逐渐增加; 不论旋耕还是深翻, 施肥量对周年水稻干物质累积量影响较小, 但是随着施肥量的增加, 周年水稻氮素积累量在逐渐增加, 与旋耕相比, 深翻后, 70% NPK、NPK 和 130% NPK 处理周年水稻氮素积累量增加。与旋耕相比, 深翻后 70% NPK 和 NPK 处理周年水稻氮肥农学利用率降低, 130% NPK 处理周年水稻氮肥农学利用率则增加; 随着施肥量的增加, 周年水稻氮肥偏生产力显著降低, 不同耕作模式间差异较小。因此, 在当地常规施肥量条件下, 与旋耕相比, 深翻能够增加周年水稻产量, 且深翻后减少 30% 施肥量对周年水稻产量影响较小, 而增加 30% 施肥量仍然有较好的增产效果。

参考文献:

- [1] 王玥凯, 郭自春, 张中彬, 等. 不同耕作方式对砂姜黑土物理性质和玉米生长的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(6): 1370-1380.
- [2] 杨佳宇, 谷思玉, 李宇航, 等. 深翻旋耕轮耕与有机肥配施对黑土农田土壤物理性质的影响[J]. 土壤通报, 2021, 52(6): 1290-1298.
- [3] 吴萍萍, 李录久, 耿言安, 等. 耕作与施肥措施对江淮地区白土理化性质及水稻产量的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 243-248.
- [4] 陈梦楠, 孙敏, 高志强, 等. 旱地麦田休闲期覆盖对土壤水分耗的影响及与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2016, 49(13): 2572-2582.
- [5] 邹文秀, 邱琛, 韩晓增, 等. 长期施用有机肥对黑土土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 土壤与作物, 2020, 9(4): 407-418.
- [6] 邓妍, 高志强, 孙敏, 等. 夏闲期深翻覆盖对旱地麦田土壤水分及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 132138.
- [7] 于淑婷, 赵亚丽, 王育红, 等. 轮耕模式对黄淮海冬小麦—夏玉米两熟区农田土壤改良效应[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2150-2165.
- [8] 王瑾瑜, 程文龙, 槐圣昌, 等. 深翻、有机无机肥配施对稻田水分渗漏和氮素淋溶的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(20): 4385-4395.
- [9] 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 旱作土壤耕层及其肥力培育途径[J]. 土壤与作物, 2015, 4(4): 145-150.
- [10] 赵士诚, 魏美艳, 仇少君, 等. 氮肥管理对秸秆还田下土壤氮素供应和冬小麦生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2): 20-25.
- [11] 王秋菊, 高中超, 张劲松, 等. 黑土稻田连续深耕改善土壤理化性质提高水稻产量大田试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(9): 126-132.
- [12] 陈敏, 胡雄伟, 鲁霞飞, 等. 不同耕作方式下稻草还田的土壤肥力与产量效应研究[J]. 湖南农业科学, 2010(23): 48-50, 53.
- [13] 朱利群, 张大伟, 卞新民. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 81-85.
- [14] 杨秀霞, 燕辉, 陈仁辉, 等. 硅锌硼配施对红壤区双季稻产量和群体发育特征的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(6): 121-128.
- [15] 陈鸿飞, 张志兴, 林文雄. 促芽肥对水稻再生芽萌发生长过程蛋白质表达的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(12): 1405-1413.
- [16] 王秋菊, 焦峰, 韩东来, 等. 机械化整地方式对低洼水田土壤理化性质及水稻产量影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(18): 70-77.
- [17] 王月超. 氮肥管理对再生稻产量形成的影响及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [18] 袁伟, 陈婉华, 王子阳, 等. 双季稻秸秆还田与减施氮肥对水稻产量和品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(4): 711-720.
- [19] 吴芸紫, 段门俊, 刘章勇, 等. 播种期对 3 个再生稻品种产量及产量构成因子的影响[J]. 作物杂志, 2017(2): 151-156.
- [20] 张成兰, 艾绍英, 杨少海, 等. 双季稻绿肥种植系统下长期施肥对赤红壤性状的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 184-189.
- [21] 段门俊, 吴芸紫, 田玉聪, 等. 不同品种再生稻产量及品质比较研究[J]. 作物杂志, 2018(2): 61-67.
- [22] 陈琨, 秦鱼生, 喻华, 等. 不同肥料/改良剂对冷泥田水稻生长、养分吸收及土壤性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 773-781.
- [23] 齐鹏, 刘晓静, 刘艳楠, 等. 施氮对不同紫花苜蓿品种氮积累及土壤氮动态变化的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(5): 1026-1032.
- [24] 张上守, 卓传营, 姜照伟, 等. 超高产再生稻产量形成和栽培技术分析[J]. 福建农业学报, 2003, 18(1): 1-6.
- [25] 易镇邪, 朱伟文, 周文新, 等. 土壤耕作方式对湘南晚稻产量形成、米质与水分利用效率的影响[J]. 作物研究, 2018, 32(2): 97-101.
- [26] 陈鸿飞, 林瑞余, 梁义元, 等. 不同栽培模式早稻再生稻头季干物质积累运转特性研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 129-133.
- [27] 徐一兰, 刘唐兴, 付爱斌, 等. 不同土壤耕作模式对双季稻植株生物学特性的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(1): 1-8.
- [28] 陈璐, 陈灿, 黄璜, 等. 不同稻鱼模式对再生稻产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2021, 50(12): 32-38.
- [29] 蒋天琦, 张兴梅, 殷奎德, 等. 不同灌溉方式对水稻氮素积累及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(2): 55-58.
- [30] 易琼, 吴腾飞, 曾招兵, 等. 控释尿素配比对华南双季稻产量、氮素吸收累积及氮肥利用率的影响[J]. 南方农业学报, 2024, 55(5): 1307-1316.