

耕作方式对土壤无机氮和再生稻生长的影响

孔 盼, 杨 镇, 姜硕琛, 侯 俊, 朱建强*

(长江大学农学院, 湖北 荆州 434025)

摘 要: 通过试验了解不同耕作方式下土壤无机氮动态和水稻生长状况, 为再生稻稻田土壤培肥提供科学依据。按冬前是否翻耕和插秧前旋耕情况设置 4 种耕作方式: 翻耕 1 次旋耕 1 次 (T1)、翻耕 1 次旋耕 2 次 (T2)、不翻耕旋耕 2 次 (T3) 和不翻耕旋耕 3 次 (T4), 观察 4 种耕作方式下土壤无机氮动态变化和水稻生长情况。结果表明: 在水稻主要生育期, 不同耕作处理下土壤无机氮含量、植株干物质积累和水稻产量均呈现 T2>T1>T4>T3 的趋势, 翻耕与旋耕结合的效果明显好于旋耕。因此, 翻耕 1 次旋耕 2 次 (T2) 可提高土壤无机氮供应, 促进水稻生长发育, 有利于干物质积累和提高水稻产量, 是值得推荐采用的适宜早稻-再生稻生产的耕作方式。

关键词: 耕作方式; 土壤无机氮; 水稻生长; 再生稻

再生稻是在水稻收获第一季后, 开发头季腋芽再次生长收获的一季水稻^[1]。在种植一季稻热量有余、种植双季稻热量又不足的地区及双季稻区只种一季中稻的稻田发展再生稻, 是提高复种指数、增加稻田单位面积稻谷产量和经济收入的有效措施之一^[2]。在我国南方稻区, 再生稻被认为是提高复种指数和增加稻谷单产比较效益的有效措施^[3]。虽然研究表明早稻-再生稻模式较水旱两熟或双季稻模式, 提高了稻田产出效益, 然而再生稻单产较低 (我国平均单产 1600 ~ 2200 kg/hm²), 在一定程度上影响其推广和产业化^[3-4]。较低的再生稻产量除与水稻自身特性有关外, 再生稻稻田土壤肥力与耕作技术也是重要的制约因素^[4-5]。国内^[3-4, 6]、国外^[2, 7-12]现有研究多围绕再生稻的形态、生理、生态探讨相关栽培技术, 对不同耕作方式下再生稻稻田的土壤无机氮及水稻生长的研究并不多。然而, 再生稻稻田不同于一般双季稻稻田耕作, 早稻耕作插秧后再生稻不需耕作, 在这种“一种两收”的特殊农作制度下, 耕作方式对土壤肥力有何影响, 特别是其中无机氮动态如何, 对需氮量大的再生稻施肥管理十分重要, 是值得研究的科学问题。因此, 本研究在调查江汉平原再生稻稻田耕作方式的基础上, 根据冬

前是否翻耕和水稻插秧前旋耕情况, 在田间管理完全一致的条件下, 通过 4 种耕作方式的田间试验, 分析了再生稻稻田土壤无机氮动态变化和水稻生长状况, 为再生稻稻田土壤培肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在湖北省荆州市金穗家庭农场 (30° 23' 46.68" N, 112° 29' 7.71" E) 的大田中进行。试验所在地位于江汉平原腹地, 属于北亚热带季风气候, 年降水量 1100 ~ 1300 mm, 太阳年辐射总量 435.3 ~ 460.4 kJ/cm², 年日照时数 1800 ~ 2000 h, 年平均气温 15.9 ~ 16.6 °C, ≥10 °C 的年积温 5000 ~ 5350 °C, 年无霜期 242 ~ 263 d。4 ~ 10 月降水量占全年的 80%, 太阳辐射量占全年的 75%, ≥10 °C 的积温为全年的 80%, 具有水热同步和与农业生产季节一致的良好气候条件, 适宜多种农作物的生长发育。2018 和 2019 年试验期间降水和气温见图 1。土壤为湖泊成因的偏粘性潴育型水稻土, 耕作层 (0 ~ 20 cm) 土壤基本性状为: 土壤 pH 值 6.27, 有机质 22.31 g/kg、全氮 1.26 g/kg、全磷 0.51 g/kg、全钾 9.51 g/kg、碱解氮 78.61 mg/kg、有效磷 20.75 mg/kg、速效钾 95.51 mg/kg。试验地常年轮作模式为早稻-再生稻-冬闲田。

1.2 试验设计

根据冬前是否翻耕和水稻插秧前旋耕次数, 设

收稿日期: 2020-12-13; 录用日期: 2021-03-27

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0300907)。

作者简介: 孔盼 (1994-), 硕士研究生, 主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail: 1006282958@qq.com。

通讯作者: 朱建强, E-mail: zyjb@sina.com。

4种耕作方式: 翻耕1次旋耕1次(T1)、翻耕1次旋耕2次(T2)、不翻耕旋耕2次(T3)、不翻耕旋耕3次(T4), 每个处理3次重复, 共计12

个小区, 小区面积为240 m²。冬前进行翻耕, 耕深25 cm; 春季栽种水稻前旋耕, 耕深15 cm。2018和2019年耕种和田间管理完全相同。

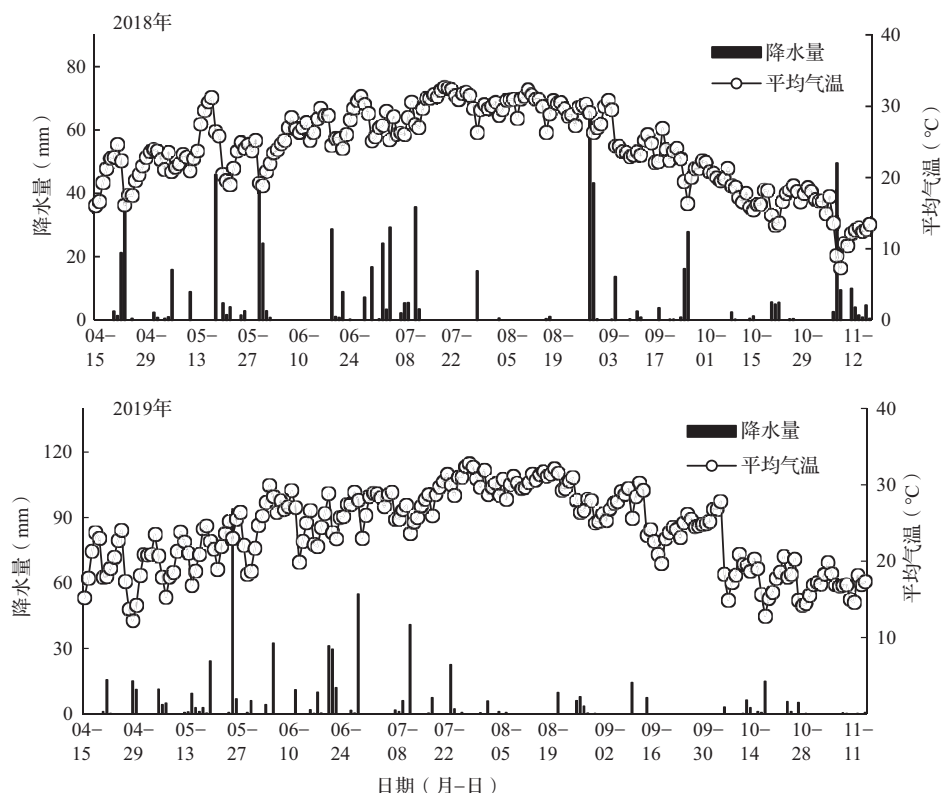


图1 试验期间降水量和平均气温

供试水稻品种为丰两优香1号, 在早稻收获时留高桩萌生腋芽发育成再生稻, 早稻-再生稻全生育期为215 d。早稻采用育秧、机插、移栽模式, 于每年3月24日播种, 4月21日移栽, 株行距为16 cm×30 cm, 每穴种植2株, 8月13日收获早稻, 留40 cm稻桩为再生稻生长创造条件。试验田按常规田间管理, 早稻和再生稻均采用机收, 秸秆均粉碎还田。

试验用氮肥为普通尿素(N 46%)、复合肥(N-P₂O₅-K₂O 百分含量为22-9-15), 全生育期施用化肥总量为N 281.2 kg/hm²、P₂O₅ 36 kg/hm²、K₂O 60 kg/hm²。早稻移栽前(4月16日)施400 kg/hm²复合肥作基肥, 6月20日施入分蘖肥(150 kg/hm²尿素), 8月3日(早稻收获前10 d)施尿素120 kg/hm²作为再生稻促芽肥, 8月18日(早稻收获后第5 d)施150 kg/hm²尿素作为再生稻提苗肥。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤无机氮采集与测定

分别于早稻的分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆

期、成熟期和再生稻的齐穗期、灌浆期和成熟期, 在每小区用土钻按五点法随机采取田间0~20 cm土层土壤样品, 土样混匀后带回实验室, 用2 mol/L KCl 浸提土壤, 采用Alliance-Futura II 连续流动分析仪测定铵态氮和硝态氮含量。同时采用烘干法测定土壤含水量。

1.3.2 生物量测定

分别于早稻的分蘖期、拔节期、孕穗期、齐穗期、灌浆期、成熟期和再生稻的齐穗期、灌浆期、成熟期取具有代表性植株地上部分, 按茎、叶及穗部分开收集, 随后将各部分在105℃下杀青30 min, 接着于80℃烘干至恒重, 测定各部分的干物质重。

1.3.3 产量及其构成因素。

分别于2季水稻成熟后, 在每小区选定3 m²实收计产。成熟期调查有效穗数, 每小区按其平均数取代表性植株5穴进行考种, 主要考察每穗粒数、结实率、千粒重。

1.4 有关指标计算

氮肥偏生产力(PFPN)按下式计算。

$$PFPN = Y_N/F$$

其中, $PFPN$ ——氮肥偏生产力, kg/kg ;

Y_N ——施氮区稻谷产量, kg/hm^2 ;

F ——施氮量, kg/hm^2 。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理, 用 DPS 7.5 进行方差分析, 并用多重比较 (LSD 法) 进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对再生稻稻田土壤无机氮的影响

不同耕作方式下, 水稻不同生育期再生稻稻田土壤中铵态氮、硝态氮含量见图 2。可以看出, 无论是早稻还是再生稻, 土壤中的铵态氮和硝态氮均随着水稻生育进程呈下降趋势, 并且翻耕与旋耕结

合下土壤中上述 2 种形态的氮均高于仅旋耕的处理, 同一生育期内各处理的土壤铵态氮和硝态氮含量大小均为 $T2>T1>T4>T3$ 的趋势。对 2 年试验结果进行统计分析发现, 不同耕作方式下耕层土壤铵态氮在早稻、再生稻不同生育期的差异有时显著、有时不显著, 从早稻拔节期到灌浆期 $T2$ 与 $T3$ 、 $T4$ 之间的差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 在再生稻生育期各处理一般不显著; 在翻耕次数相同的条件下, 增加旋耕次数不会引起土壤硝态氮发生显著变化, 这可能与稻田长期处于淹水还原状态有关。研究结果表明, 在翻耕次数相同的条件下增加旋耕次数可在一定程度上提高土壤中铵态氮和硝态氮的含量, 在旋耕次数相同的条件下, 冬前是否翻耕对头季稻土壤中的铵态氮含量有明显影响, 本试验条件下冬前翻耕 1 次、水稻栽种前旋耕 2 次的效果最佳。

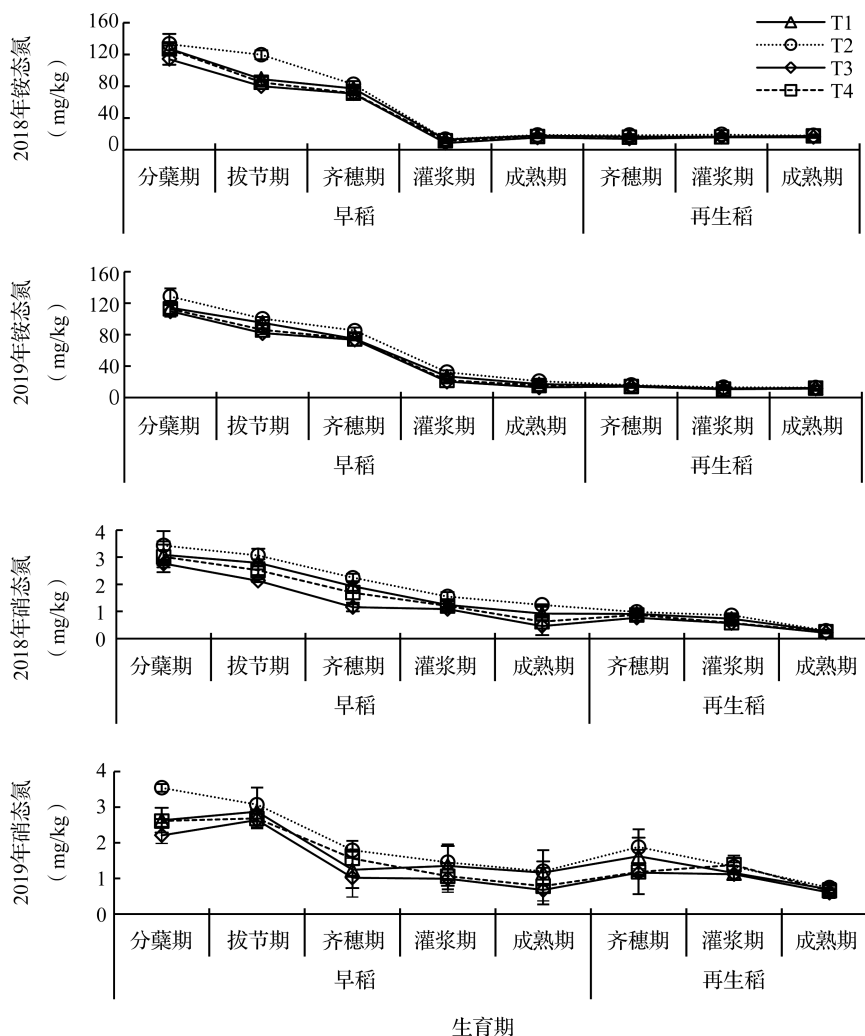


图 2 耕作方式对土壤铵态氮和硝态氮变化的影响

2.2 耕作方式对水稻地上部干物质积累的影响

根据田间调查取样与室内分析,表1给出了2018和2019年早稻-再生稻各生育期在不同耕作方式下的地上部干物质重。由表1可以看出,耕作方式对部分时期水稻干物质重有显著影响,同一生育期不同处理间干物质大小顺序为T2>T1>T4>T3,2年表现一致。从各处理之间的差异来看,2018年仅再生稻成熟期T2与T3、T4之间的差异显著($P<0.05$);

除了早稻孕穗期,在2019年T2与T3、T4在各生育期的干物质重差异达到显著水平($P<0.05$)。在耕作方式上,增加旋耕次数有利植株生长和增加干物质重;T2与T3相比,在水稻栽种前进行同样旋耕的条件下,冬前翻耕有利于植株生长和增加干物质重。上述试验结果表明,适当的翻耕和旋耕均对水稻生长的发育有利。从2年试验结果看,冬前翻耕、水稻栽种前旋耕2次(即T2)效果最好。

表1 耕作方式对水稻地上部干物质积累的影响 (t/hm²)

年份	处理	早稻						再生稻	
		分蘖期	拔节期	孕穗期	齐穗期	灌浆期	成熟期	齐穗期	成熟期
2018	T1	4.28 ± 0.19a	5.30 ± 0.24a	6.52 ± 0.07a	11.37 ± 2.49a	13.77 ± 0.89a	16.97 ± 1.64a	5.87 ± 1.43a	7.92 ± 1.41ab
	T2	5.10 ± 1.10a	5.41 ± 0.17a	6.56 ± 0.17a	11.70 ± 0.99a	14.08 ± 0.91a	17.10 ± 2.95a	6.19 ± 1.68a	8.25 ± 0.67a
	T3	3.45 ± 0.77a	4.95 ± 0.36a	6.13 ± 0.33a	10.13 ± 0.46a	12.22 ± 1.57a	15.97 ± 1.38a	4.51 ± 0.66a	6.02 ± 0.42c
	T4	3.74 ± 0.88a	5.08 ± 0.20a	6.42 ± 0.46a	10.92 ± 2.78a	13.32 ± 1.00a	16.68 ± 2.71a	5.17 ± 0.68a	6.23 ± 0.16bc
2019	T1	4.10 ± 0.07b	4.91 ± 0.43b	7.45 ± 0.66ab	11.71 ± 0.56ab	12.12 ± 0.38b	14.15 ± 0.32a	5.49 ± 0.21c	8.36 ± 0.76b
	T2	4.43 ± 0.15a	6.68 ± 0.21a	7.77 ± 0.72a	11.79 ± 0.40a	13.73 ± 0.58a	15.07 ± 0.43a	6.74 ± 0.20a	9.81 ± 0.27a
	T3	3.15 ± 0.03c	4.86 ± 0.11c	6.49 ± 0.14b	10.28 ± 0.71b	11.66 ± 0.46b	12.68 ± 0.21b	5.34 ± 0.09c	7.22 ± 0.76b
	T4	3.28 ± 0.14c	5.48 ± 0.18b	7.23 ± 0.42ab	10.65 ± 0.60b	11.63 ± 0.59b	12.83 ± 0.59b	5.88 ± 0.12b	7.72 ± 0.11b

2.3 耕作方式对再生稻产量及其构成因素、氮肥偏生产力的影响

不同耕作方式下水稻早稻和再生稻的产量及其构成因素、氮肥偏生产力见表2。综合不同耕作方式的2年试验结果,从产量大小和氮肥偏生产力来看,均表现为T2>T1>T4>T3。试验结果表明,在生产效果上翻耕与旋耕结合优于单一旋耕,翻耕次数

相同时适当增加旋耕可促进作物生长、提高作物产量。从耕作方式对早稻和再生稻产量的影响来看,T2与T3、T4相比,早稻产量均差异显著,而再生稻产量均无显著差异。从目前仅有的2年试验结果来看,耕作方式对早稻-再生稻产量的影响主要在早稻,关键是T2能显著增加穗粒数。

表2 耕作方式对再生稻产量和产量构成因素及氮肥偏生产力的影响

年份	生长季	处理	单位有效穗数 (个/蔸)	每穗总粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)	氮肥偏生产力 (kg/kg)
2018	早稻	T1	12.00 ± 2.65a	147.13 ± 29.84ab	81 ± 0.09a	27.22 ± 1.07a	8603.33 ± 244a	54.80 ± 1.55ab
		T2	14.33 ± 4.16a	166.71 ± 17.15a	85 ± 0.06a	27.55 ± 1.01a	9216.67 ± 798a	58.70 ± 5.08a
		T3	11.67 ± 3.06a	117.35 ± 22.87b	71 ± 0.09a	26.94 ± 0.57a	6420.00 ± 241c	40.89 ± 1.53c
		T4	11.00 ± 1.00a	130.89 ± 7.14ab	76 ± 0.03a	27.22 ± 0.29a	7463.33 ± 668b	47.54 ± 4.26bc
	再生稻	T1	19.00 ± 4.00ab	71.33 ± 6.86a	63 ± 0.04a	26.44 ± 0.39a	2668.67 ± 210.57a	21.49 ± 1.38a
		T2	20.33 ± 2.52a	72.26 ± 10.82a	63 ± 0.02a	26.61 ± 0.97a	2906.00 ± 688.83a	23.40 ± 4.53a
		T3	13.00 ± 5.00b	69.60 ± 14.65a	58 ± 0.06a	26.02 ± 1.02a	2381.22 ± 217.87a	19.17 ± 1.43a
		T4	17.00 ± 3.00ab	69.60 ± 8.97a	61 ± 0.05a	26.42 ± 0.54a	2445.33 ± 502.04a	19.69 ± 3.30a
2019	早稻	T1	14.67 ± 1.25a	113.08 ± 5.40ab	78 ± 0.01ab	26.39 ± 0.33ab	6800.00 ± 529.15ab	43.31 ± 2.75ab
		T2	17.00 ± 0.82a	128.45 ± 7.75a	82 ± 0.02a	26.57 ± 0.12a	7533.33 ± 1006.64a	47.98 ± 5.24a
		T3	14.00 ± 0.82a	105.19 ± 0.79b	73 ± 0.01c	25.29 ± 0.48c	4833.33 ± 208.17c	30.79 ± 1.08c
		T4	14.33 ± 2.05a	112.48 ± 14.11ab	75 ± 0.03bc	25.62 ± 0.49bc	5200.00 ± 137.07bc	33.12 ± 8.51bc
	再生稻	T1	16.67 ± 2.62a	74.54 ± 3.68ab	70 ± 0.03a	24.73 ± 1.20a	3533.33 ± 1006.64a	28.45 ± 6.62a
		T2	16.67 ± 2.36a	81.60 ± 4.85a	73 ± 0.01a	25.60 ± 0.35a	3800.00 ± 1249.00a	30.60 ± 8.21a
		T3	13.67 ± 1.70a	69.98 ± 1.10b	69 ± 0.04a	23.82 ± 0.79a	2866.67 ± 503.32a	18.79 ± 3.31a
		T4	15.67 ± 2.05a	71.12 ± 2.39b	69 ± 0.05a	24.62 ± 1.04a	3466.67 ± 611.01a	27.91 ± 4.02a

3 讨论

3.1 耕作方式对再生稻土壤无机氮的影响

相关研究表明, 施入土壤中的氮大部分经过脲酶和硝化微生物作用转化为铵态氮和硝态氮, 是作物吸收利用的主要方式^[13]。赵诚斋等^[14]认为, 细土的土壤转化成铵态氮的量最高, 土块大于 1 cm 铵态氮的产生受到严重抑制, 说明土块大小影响土壤铵态氮的含量。李富程等^[15]研究说明, 在一定范围内, 随着耕作深度的不断增加, 土壤净位移量显著增大, 可帮助增厚和改善耕层土壤。本研究表明, 耕作方式对土壤硝态氮和铵态氮含量有一定影响, 表现为 T2>T1>T4>T3, 即翻耕与旋耕结合下土壤无机氮含量明显高于仅作旋耕的处理。其可能的原因有 3 个: 一是与旋耕相比, 翻耕与旋耕结合既增加了耕层深度又使土粒破碎均匀, 并使土壤紧实度降低^[16]、表面积增大, 有利于土壤固持养分^[17]; 二是翻耕与旋耕结合下, 秸秆的埋藏较深且与土壤混合比较均匀, 使更多的秸秆存留在土壤中, 增加了土壤中的氮含量, 提高了土壤对铵根离子的吸附能力^[18-19]; 三是翻耕与旋耕结合改善了土壤通气状况^[20], 可增加土壤微生物量和提高土壤微生物的活性^[21], 能改变土壤有机氮和无机氮的转化, 具有调节土壤微生物碳氮供应的功能^[22-23], 进而提高土壤碳氮含量, 增强土壤微生物氮素固持能力^[24]。综上所述, 冬前翻耕 1 次、水稻栽种前旋耕 2 次的处理 (T2), 其土壤中的无机氮含量最高, 这种翻耕与旋耕结合既保证了较深的耕作层, 又使土块碎化细小, 为基肥与土壤均匀掺混和肥料中的氮素转化创造了条件。

3.2 耕作方式对再生稻干物质积累量及产量的影响

耕作对于土壤是一个非常重要的环节, 这方面已有较多研究。代贵金等^[25]研究发现, 翻耕可增加土壤总孔隙度和土壤通气性, 提高土壤中好气性微生物的活动能力, 加速有机物腐殖化过程, 改善土壤环境, 有利于培肥土壤, 便于根系吸收缓效养分和速效养分, 促进水稻生长发育和增加干物质积累。张大伟等^[26]研究显示, 长年翻耕会使土壤疏松、容重降低, 在秸秆还田的情况下容重降低更多, 对水稻的生长更为有利。旋耕的耕深偏浅, 长期使用这种耕作方法会使土壤犁底层变浅, 导致通透性变差, 渗水困难, 不利于水稻植株的生长^[27],

从而影响水稻的干物质重。

作物不同器官的干物质积累与其生长发育关系密切, 作物的干物质积累量是其产量的物质基础^[28]。本研究 2 年定位试验结果表明, 翻耕与旋耕结合的干物质积累量大于旋耕, 以冬前翻耕 1 次、水稻栽种前旋耕 2 次的处理 (T2) 干物质积累量最高, 其次是冬前翻耕 1 次、水稻栽种前旋耕 1 次的处理 (T1), 仅在水稻栽种前旋耕 2 次的处理 (T3) 最低。可能是翻耕与旋耕结合改良了土层间有机质的分布, 能显著提高土壤的蓄水保肥能力, 降低土壤容重与紧实度, 改善土壤结构, 促进孔隙形成, 从而促进作物根系生长、吸收营养元素, 提高作物干物质积累量及产量^[29-31]。有研究认为, 抽穗后的干物质生产量与稻谷产量呈显著至极显著正相关, 抽穗后干物质积累量高对水稻高产更重要^[32-33]。本研究表明, 各处理干物质积累量和产量均呈现 T2>T1>T4>T3 的趋势, 各处理产量随干物质积累量的增加而增加, 此结果与前人研究一致^[28]。翻耕与旋耕结合处理下, 本研究得出早稻和再生稻的有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒重及产量均大于旋耕处理, 这与黄佑岗等^[34]、唐海明等^[35]、谷子寒等^[36]在双季稻上的相关研究结果类似。可能是翻耕与旋耕结合有利于改善土壤结构和根系的生长环境, 促进了植株地下和地上部分的生长, 增强了植株光合产物的制造与积累量, 从而有利于增加干物质积累, 为水稻高产提供了物质保障^[33]。

4 结论

耕作方式影响土壤无机氮含量和干物质积累量及早稻-再生稻的产量。通过连续 2 年田间试验结果分析, 可得出如下结论:

(1) 从土壤无机氮供应、保证水稻生长对养分的需求看, 4 种耕作方式下土壤无机氮含量呈 T2>T1>T4>T3 的基本趋势, 反映了翻耕与旋耕结合好于仅旋耕的耕作方式, 以 T2 最佳。

(2) 从 4 种耕作方式的效果来看, 翻耕与旋耕结合 (T1、T2) 好于仅旋耕的耕作方式 (T3、T4); 在翻耕次数相同的前提下, 增加旋耕会取得较好的效果, 表现为 T2>T1、T4>T3。

(3) 在促进作物生长并取得较高产量上, 4 种耕作方式呈现 T2>T1>T4>T3 的趋势, 其中以 T2 最优, 建议在生产实践中采用该耕作方式。

致谢: 文中水文气象数据由湖北省荆州农业气象试验站提供, 在此仅表谢忱。

参考文献:

- [1] Faruq G, Taha R M, Prodhan Z H. Rice ratoon crop: a sustainable rice production system for tropical hill agriculture[J]. Sustainability, 2014, 6: 5785-5800.
- [2] Harrell D L, Bond J A, Blanche S. Evaluation of main-crop stubble height on ratoon rice growth and development [J]. Field Crops Research, 2009, 114: 396-403.
- [3] 林文雄, 陈鸿飞, 张志兴, 等. 再生稻产量形成的生理生态特性与关键栽培技术的研究与展望 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23 (4): 392-401.
- [4] 徐富贤, 熊洪, 张林, 等. 再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (9): 1702-1717.
- [5] 何水清, 党洪阳, 王玉猛. 水稻一季+再生头季稻机收技术 [J]. 浙江农业科学, 2015, 56 (6): 787-789.
- [6] 曹玉贤, 朱建强, 侯俊. 中国再生稻的产量差及影响因素 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (4): 707-724.
- [7] Setter T L, Laureles E V, Mazaredo A M. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis [J]. Field Crops Research, 1997, 49: 95-106.
- [8] Kobayashi R, Sato K, Hattori I. Optimizing fertilizer application rate, planting density, and cutting time to maximize dry matter yield by ratoon cropping in forage rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Japanese Journal of Grassland Science, 2006, 52: 138-143.
- [9] Nakano H, Morita S. Effects of twice harvesting on total dry matter yield of rice [J]. Field Crops Research, 2007, 101: 269-275.
- [10] Nakano H, Morita S. Effects of time of first harvest, total amount of nitrogen, and nitrogen application method on total dry matter yield in twice harvesting of rice [J]. Field Crops Research, 2008, 105: 40-47.
- [11] Petroudi E R, Noormohammadi G, Mirhadi M J, et al. Effects of nitrogen fertilization and rice harvest height on agronomic yield indices of ratoon rice-berseem clover intercropping system [J]. Australian Journal of Crop Science, 2011, 5 (5): 566-574.
- [12] Shahri M M, Yazdpour H, Soleymani A, et al. Yield and yield components of ratoon crop of rice as influenced by harvesting at different plant height and time [J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2012, 13 (2): 408-411.
- [13] 侯云鹏, 杨建, 李前, 等. 施氮对水稻产量、氮素利用及土壤无机氮积累的影响 [J]. 土壤通报, 2016, 47 (1): 118-124.
- [14] 赵诚斋, 赵渭生. 土壤紧实度与土块分配对水稻生长的影响及耕作方法的调节 [J]. 土壤学报, 1979, 16 (3): 265-276.
- [15] 李富程, 花小叶, 黄强. 耕作深度对紫色土坡地旋耕机耕作侵蚀的影响 [J]. 水土保持研究, 2016, 23 (4): 1-5.
- [16] 葛畅, 刘慧琳, 张世文, 等. 耕作方式和土壤类型对皖北旱作农田土壤紧实度的影响 [J]. 水土保持研究, 2018, 25 (5): 89-94.
- [17] 冯国禄, 杨仁斌. 耕作模式和滞水时间对稻田中氮磷动态变化的影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30 (5): 917-924.
- [18] 丛日环, 张丽, 鲁艳红, 等. 长期秸秆还田下土壤铵态氮的吸附解吸特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (2): 380-388.
- [19] 刘世平, 陈文林, 聂新涛, 等. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (6): 1049-1053.
- [20] 邹文秀, 陆欣春, 韩晓增, 等. 耕作深度及秸秆还田对农田黑土土壤供水能力及作物产量的影响 [J]. 土壤与作物, 2016, 5 (3): 141-149.
- [21] 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等. 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33 (17): 5210-5218.
- [22] 吕殿青, 张树兰, 杨学云. 外加碳、氮对土壤氮矿化、固定与激发效应的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (2): 223-229.
- [23] 仇少君, 彭佩钦, 刘强, 等. 土壤微生物生物量氮及其在氮素循环中作用 [J]. 生态学杂志, 2006 (4): 443-448.
- [24] 王峻, 薛永, 潘剑君, 等. 耕作和秸秆还田对土壤团聚体有机碳及其作物产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2018, 32 (5): 121-127.
- [25] 代贵金, 岩石真嗣, 三木孝昭, 等. 不同耕作与施肥方法对水稻根系生长分布和活性的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39 (3): 274-278.
- [26] 张大伟, 刘建, 王波, 等. 连续两年秸秆还田与不同耕作方式对直播稻田土壤理化性质的影响 [J]. 江西农业学报, 2009, 21 (8): 53-56.
- [27] 姚秀娟. 翻耕与旋耕作业对水稻生产的影响 [J]. 现代化农业, 2007 (7): 27-28.
- [28] 陈丽楠, 彭显龙, 刘元英, 等. 养分管理对寒地水稻干物质积累及运转的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2010, 41 (5): 52-56.
- [29] 吴建富, 曾研华, 赵新帆, 等. 耕作方式对双季机插水稻产量和土壤理化性质的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2017, 43 (6): 581-585.
- [30] 潘孝晨, 唐海明, 肖小平, 等. 不同耕作方式及泥浆沉淀时间对机插晚稻干物质积累及产量的影响 [J]. 作物研究, 2018, 32 (5): 359-364, 384.
- [31] 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.
- [32] 彭显龙, 刘元英, 罗盛国, 等. 实地氮肥管理对寒地水稻干物质积累和产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39 (11): 2286-2293.
- [33] 凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 等. 水稻高产群体质量及其优化

- 控制探讨 [J]. 中国农业科学, 1993, 26 (6): 1-11.
- [34] 黄佑岗, 冯跃华, 许桂玲, 等. 不同耕作方式对杂交籼稻生长特性和产量形成的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23 (4): 139-143.
- [35] 唐海明, 李超, 肖小平, 等. 双季稻区不同土壤耕作模式对水稻干物质积累及产量的影响 [J]. 华北农学报, 2019, 34 (3): 137-146.
- [36] 谷子寒, 王元元, 帅泽宇, 等. 土壤耕作方式对水稻产量形成特性的影响初探 [J]. 作物研究, 2017, 31 (2): 103-109.

Effects of tillage methods on soil inorganic nitrogen and growth of ratoon rice

KONG Pan, YANG Zhen, JIANG Shuo-chen, HOU Jun, ZHU Jian-qiang* (College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025)

Abstract: The dynamics of soil inorganic nitrogen and the growth status of rice under different tillage methods were studied, which could provide scientific basis for soil fertility for ratoon rice. According to whether paddy field was plowed during fallow before winter or not and the condition of rotary tillage before transplanting, four tillage methods were set up, which included plowing once and rotary tillage once (T1), plowing once and rotary tillage 2 times (T2), no plowing and rotary tillage 2 times (T3), and no plowing and rotary tillage 3 times (T4). The dynamic soil inorganic nitrogen and rice growth of these treatments were studied. The result showed that: in the main growth period of rice, the soil inorganic nitrogen content, plant dry matter accumulation and rice yield showed a trend of T2>T1>T4>T3 under different tillage treatments, and the effect of plowing combined with rotary tillage was better than rotary tillage only. Thus, plowing once and rotary tillage 2 times (T2) can increase soil inorganic nitrogen supply, promote rice growth, and enhance dry matter accumulation and rice yield. Hence, it is worthy of recommendation in early rice and ratoon rice production.

Key words: tillage method; soil inorganic nitrogen; rice growth; ratoon rice