

鄱阳湖流域典型种植模式农田地表径流与氮磷流失特征

陈昱¹, 刘方平^{1*}, 吴彩云¹, 王子荣¹, 张福建²

(1.江西省灌溉试验中心站, 南昌 330201; 2.崇明区农业技术推广中心, 上海 202150)

摘要:【目的】探明鄱阳湖流域内不同种植模式在自然降雨条件下的农田地表径流及氮、磷流失特征。【方法】选取旱作、水旱轮作及水作3种植植模式, 通过连续2 a的试验监测, 分析不同月份和作物种类的降雨、径流及氮、磷流失特征。【结果】降雨量和径流量主要发生在每年的6—7月, 不同种植模式中, 作物径流量和产流系数以空心菜最大, 晚稻最小, 径流量与作物生长期间的降雨量大小基本一致; 3种植植模式下的径流量大小排序为: 旱作>水旱轮作>水作, 旱作和水旱轮作相比水作的径流量分别增加了42.28%和20.84%。不同种植模式氮、磷流失主要发生在5—7月, 旱作空心菜的总氮、总磷及硝态氮流失量最大, 水旱轮作模式中稻的铵态氮流失量最大; 3种植植模式总氮、总磷量及硝态氮流失量大小排序与径流量的变化规律一致; 旱作物的氮流失以硝态氮为主, 水稻的氮流失以铵态氮为主。【结论】不同种植模式径流量大小排序为: 旱作模式>水旱轮作模式>水作模式, 旱作物氮素流失以硝态氮为主, 水稻氮素流失以铵态氮为主, 总氮、总磷及硝态氮流失量变化规律与径流量变化规律一致。

关键词: 自然降雨; 种植模式; 农田; 径流; 氮磷流失

中图分类号: S27; S157

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022414

OSID:



陈昱, 刘方平, 吴彩云, 等. 鄱阳湖流域典型种植模式农田地表径流与氮磷流失特征[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(7): 101-108.

CHEN Yu, LIU Fangping, WU Caiyun, et al. Impact of Planting Practices on Nitrogen and Phosphorus Loss Via Surface Runoff in Poyang Lake Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(7): 101-108.

0 引言

【研究意义】地表径流携带的养分(氮、磷)流失易导致地表水体富营养化^[1], 造成农田面源污染, 危害流域水体安全^[2-4]。鄱阳湖流域几乎覆盖了整个江西省, 流域内地表径流造成的农田面源污染对生态环境造成了严重破坏。因此, 分析鄱阳湖流域典型种植模式下的农田地表径流和氮、磷流失特征, 对流域可持续耕作与生态环境保护具有重要意义。

【研究进展】以往研究指出, 降雨特征、土壤类型、坡面特征、农作物类型、耕作与施肥方式、地表覆盖及管理措施会影响农田地表径流和氮、磷流失^[5-7]。随着农业生产结构的优化和调整, 鄱阳湖流域的农业种植模式也发生了改变, 当前流域主要的种植模式为旱作、水作及水旱轮作模式。研究发现, 流域内的露地蔬菜、水稻-油菜轮作及园地等种植模式下的氮、磷流失量差异较大, 其中露地蔬菜是氮、磷流失量最大的种植模式^[8]。李涛等^[9]研究发现, 间作和轮作相比单作能有效降低径流量和氮、磷流失量。【切入点】

以往研究大多针对某一时段^[9-10]或某一区域的单一种植模式^[11], 对自然降雨条件下不同种植模式全年径流量及氮、磷流失特征的研究较少。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究选取3个典型种植模式, 分析不同作物种植条件下的不同时间地表径流量及氮、磷流失量, 探究不同种植模式下的氮、磷流失特征, 为流域面源污染防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于江西省灌溉试验中心站(28°26'N, 116°00'E), 属典型的亚热带湿润季风性气候区, 气候温和, 降雨充沛, 年平均气温为17.5℃, 年平均日照时间为1720.8 h, 年平均蒸发量为1139 mm, 年平均降雨量为1636 mm。汛期为4—7月, 汛期降雨量占年降雨量的60%~70%。试验区稻田土壤类型为黄泥土, 土壤理化性状见表1。

1.2 试验设计

试验于2019年5月—2021年4月开展, 分为2019年5月—2020年4月、2020年5月—2021年4月的2个时段。设置3种植植模式, 分别为旱作模式(空心菜-小白菜-休耕)、水作模式(早稻-晚稻-休耕)及水旱轮作模式(中稻-油菜-休耕); 作物品种分别为本地柳叶空心菜、德高苏州青小白菜、油丰730油菜;

收稿日期: 2022-07-26 修回日期: 2023-02-20 网络出版日期: 2023-05-10

基金项目: 江西水利科技项目(201821ZDKT13)

作者简介: 陈昱(1992-), 男, 工程师, 主要从事农田灌溉排水研究。

E-mail: chenyu821@163.com

通信作者: 刘方平(1977-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事农田灌溉排水研究。E-mail: lfp1224@sina.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

陆两优 996 早稻、黄花占中稻、天优华占晚稻。每个处理设置 3 个重复, 共计 9 个小区。每个小区面积为 66.7 m^2 (长 12 m, 宽 5.56 m), 均配套独立的灌溉系统和径流池; 试验小区之间筑防渗田埂, 以防止相邻小区间发生串流; 在试验区外围设置 2 m 保护行。按

照当地耕作方式, 旱作物均采用垄高 7~10 cm, 垄面宽 145 cm, 其中空心菜采用移栽方式种植, 栽种间距为 30 cm, 小白菜和油菜采用直播方式种植; 水稻采用人工移栽方式种植。具体栽培时间和施肥情况见表 2 和表 3。

表 1 2019 年和 2020 年试验土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of test soil in 2019 and 2020

年份	种植模式	有机质量/ (g kg^{-1})	全氮量/ (g kg^{-1})	全磷量/ (g kg^{-1})	全钾量/ (g kg^{-1})	碱解氮量/ (mg kg^{-1})	有效磷量/ (mg kg^{-1})	速效钾量/ (mg kg^{-1})	pH 值
2019	-	21.40	1.34	1.08	13.20	112.00	78.60	176.50	6.14
	旱作	15.03	1.65	0.92	13.76	81.62	66.16	173.55	6.54
2020	水作	16.77	1.58	0.82	10.10	90.58	68.13	152.32	5.66
	水旱轮作	21.45	1.47	0.87	9.43	67.42	75.29	139.99	6.65

表 2 不同种植模式的栽培时间

Table 2 Planting schedule of different planting modes

种植模式	种植模式	栽培时间
旱作	空心菜-小白菜-休耕	4 月 12 日移栽空心菜, 10 月 6 日结束; 11 月 5 日播种小白菜, 2 月 18 日采收后休耕。
水作	早稻-晚稻-休耕	4 月 27 日底移栽早稻, 7 月 12 日收割早稻, 7 月 27 日移栽晚稻, 10 月 28 日收割晚稻后休耕。
水旱轮作	中稻-油菜-休耕	6 月 15 日移栽中稻, 9 月 26 日收割; 10 月 14 日直播油菜, 5 月 5 日收获后休耕。

表 3 不同种植模式的施肥时间及施肥量

Table 3 Timing of cultivation and fertilization under different planting modes

种植模式	施肥时间、施肥量							
旱作	空心菜	2019 年	0423	0512	0606	0716	0813	0917
		2020 年	0412	0512	0601	0706	0805	0908
		施肥量/ (kg hm^{-2})	135、135、135	40、0、0	80、40、40	100、50、50	100、50、50	80、40、40
	小白菜	2019—2020 年	1105		0104		0201	
		2020—2021 年	1115		0106		0203	
水作	早稻	2019 年	0427		0508		0601	
		2020 年	0429		0509		0601	
		施肥量/ (kg hm^{-2})	90、90、90		54、0、36		36、0、54	
	晚稻	2019 年	0803		0812		0901	
		2020 年	0727		0804		0903	
水旱轮作	中稻	2019 年	0615		0623		0723	
		2020 年	0618		0630		0721	
		施肥量/ (kg hm^{-2})	90、90、90		54、0、36		36、0、54	
	油菜	2019—2020 年	1014		0201		0303	
		2020—2021 年	1023		0207		0306	
	施肥量/ (kg hm^{-2})	135、135、135		40、0、0		80、40、40		

注 表中施肥量分别代表氮、磷、钾肥, 以 N、 P_2O_5 、 K_2O 计。

旱作模式中空心菜采用沟灌方式灌溉, 小白菜采用浇灌方式灌溉; 水作模式早、晚稻均采用间歇灌溉方式灌溉; 水旱轮作模式中稻采用间歇灌溉方式灌溉, 油菜采用浇灌方式灌溉。病虫害管理与当地实际生产管理方式保持一致。

1.3 样品采集与分析方法

试验期间内, 每次自然降雨产生的地表径流进入径流池, 测定径流池水深。径流池采用 3 级径流装置, 径流量根据径流池水深和面积计算得出。使用 250 mL 聚乙烯采样瓶在每级径流池采集水样, 进行样品预处理, 用于水样氮、磷量的测定。取样后, 打开每个径流池底的排水阀, 排空径流池, 并将径流池清洗干净, 以备下一次收集径流。总氮量用过硫酸

钾消解紫外分光光度法测定, 总磷采用钼酸铵分光光度法测定, 硝态氮采用紫外分光光度法测定, 铵态氮采用靛酚蓝比色法测定。基于江西省灌溉试验研究基地气象站观测每次的降雨量。地表径流过程中的总氮、总磷、铵态氮、硝态氮流失量等于每次所取水样中各指标浓度与径流量的乘积, 计算式为:

$$P = \sum_{i=1}^n C_i \times V_i \quad (1)$$

式中: P 为总氮、总磷、铵态氮、硝态氮流失总量 (g); C_i 为第 i 次径流中总氮、总磷、铵态氮、硝态氮的质量浓度 (mg/L); V_i 为第 i 次径流的体积 (m^3)。

1.4 数据分析

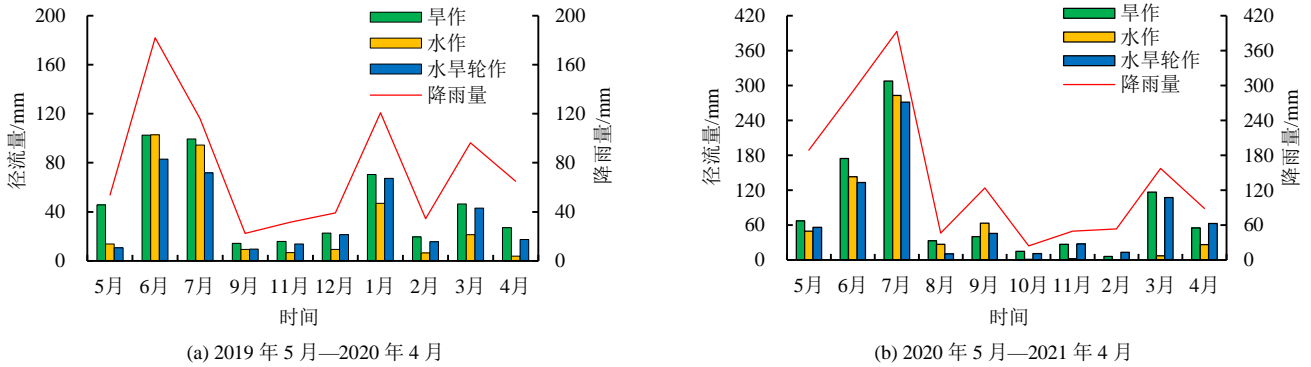
数据分析及图表制作使用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 统计软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式径流量和降雨量的分布特征

不同种植模式下的月降雨量及月径流量见图 1。由图 1 (a) 可知, 2019 年 5 月—2020 年 4 月, 径流量和降雨量主要分布在 6、7 月及次年 1 月; 以旱作模式为例, 3 个月径流量占全时段径流总量的 58.75%, 6 月降雨量最高, 占试验时段的 18.13%; 不同种植模式各月地表径流量以旱作模式最高, 5—7 月旱作轮

作模式径流量最小; 7 月后, 水作模式径流量最小; 这是由于该期间水稻大部分时间处于休耕状态, 土壤含水率低, 降雨后不易产生径流。由图 1 (b) 可知, 2020 年 5 月—2021 年 4 月, 降雨主要集中在 6 月和 7 月, 2 个月的降雨量分别为 289.9 mm 和 393.2 mm, 合计占全试验时段降雨量的 43.01%; 不同种植模式的径流也主要发生这 2 个月。总体来看, 不同种植模式径流量与降雨量的变化规律基本一致。



注 图中缺失月份为未产生径流月份, 下同。

图 1 不同种植模式下的月降雨量、径流量分布特征

Fig.1 Characteristics of rainfall and runoff during various months in different planting modes

2.2 不同种植模式中各作物径流量分析

不同种植模式中各作物降雨量和径流量见表 4。由于各作物种植时间不同, 生长期内的降雨量各不相同, 径流量也存在差异。2019 年 5 月—2020 年 4 月, 共发生 35 次降雨, 形成径流的降雨量为 761.6 mm, 占总降雨量的 75.89%; 旱作模式空心菜降雨量、径流量及产流系数最大。各作物径流量排序为: 空心菜 > 早稻 > 油菜 > 中稻 > 小白菜 > 晚稻。空心菜、中稻、早稻的产流系数分别为 0.66、0.61 和 0.60; 这 3 种作物生长期均处于 5—7 月, 此期间降雨量和降雨强度较大, 更易产生径流; 在降雨量较大的 7 月, 这

3 种作物月产流系数分别为 0.78、0.72 和 0.69。2020 年 5 月—2021 年 4 月, 共发生 53 次降雨, 产生径流的降雨量为 1 436.9 mm, 占总降雨量的 90.47%; 产生径流次数最多的为旱作模式, 为 44 次。径流次数及径流量均以旱作模式空心菜最大, 径流量高达 623.3 mm, 分别相比早稻和中稻径流量高 31.00% 和 57.18%。各模式中作物产生径流的降雨量排序为: 空心菜 > 早稻 > 中稻 > 油菜 > 小白菜 > 晚稻, 这与各模式中作物径流量排序相一致, 证明降雨量越大, 降雨次数越多, 径流量也越多。

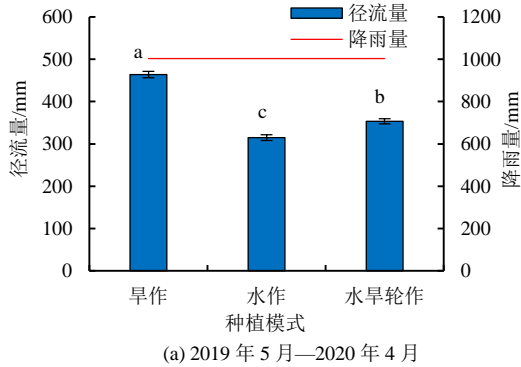
表 4 不同种植模式中各作物降雨量和径流量分析

Table 4 Analysis of rainfall and runoff of various crops under different cropping modes

试验时段	种植模式	作物	降雨		地表径流		产流系数
			次数	降雨量/mm	次数	径流量/mm	
2019 年 5 月—2020 年 4 月	旱作	空心菜	19	439.3	12	289.2	0.66
		小白菜	11	226.0	5	128.4	0.57
		休耕	5	96.3	3	46.5	0.48
	水作	早稻	14	351.7	9	211.2	0.60
		晚稻	2	54.0	2	15.9	0.29
		休耕	19	355.9	8	88.0	0.25
	水旱轮作	中稻	8	244.0	6	148.4	0.61
		油菜	20	387.4	10	178.2	0.46
		休耕	7	130.2	3	26.6	0.20
2020 年 5 月—2021 年 4 月	旱作	空心菜	31	1 042.4	26	623.3	0.60
		小白菜	11	207.6	11	104.9	0.51
		休耕	11	186.9	7	114.5	0.61
	水作	早稻	25	871.8	21	475.8	0.55
		晚稻	8	194.6	5	91.7	0.47
		休耕	20	370.5	10	35.8	0.10
	水旱轮作	中稻	21	734.3	18	396.5	0.54
		油菜	19	374.2	15	193.6	0.52
		休耕	13	328.4	9	148.7	0.45

2.3 不同种植模式总径流量分析

不同种植模式径流量和降雨量对比分析如图 2 所示。2019 年 5 月—2020 年 4 月, 降雨量为 1 003.5 mm, 属于枯水年水平^[12], 3 个种植模式的径流量大小排序分别为: 旱作模式>水旱轮作模式>水作模式, 径流量分别为 464.0、353.2 mm 和 315.3 mm。与水作模式相比, 旱作模式和水旱轮作模式下的径流量分别



增加了 47.25% 和 12.09%。2020 年 5 月—2021 年 4 月, 降雨量为 1 588.3 mm, 属于平水年水平^[12], 3 个种植模式径流量仍以旱作模式最大, 为 842.7 mm, 水作模式最小, 为 603.3 mm; 与旱作模式相比, 水作模式和水旱轮作模式下的径流量分别降低了 28.41% 和 12.33%。

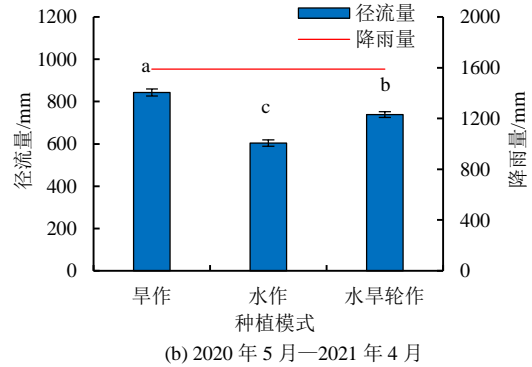


图 2 不同种植模式下的降雨量和径流量

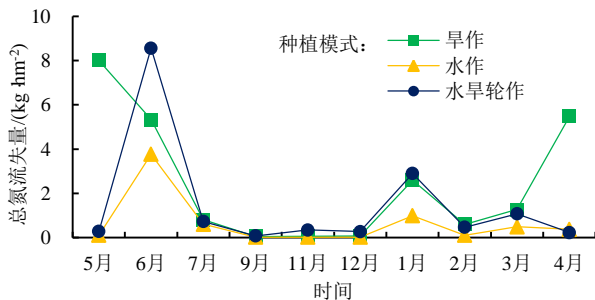
Fig.2 Analysis of rainfall and runoff characteristics of different planting modes

2.4 不同种植模式下不同月份氮、磷流失特征分析

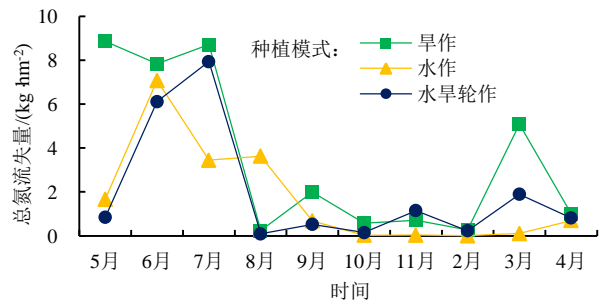
不同种植模式下的径流中氮、磷流失量的月变化规律如图 3 所示。由图 3 (a) 可知, 2019 年 5 月—2020 年 4 月, 不同种植模式径流中总氮流失量的差异主要体现在 2019 年 5—6 月和 2020 年 4 月, 旱作、水作和水旱轮作模式在这 3 个月的流失量分别占全试验时段总流失量的 77.51%、65.34% 和 60.70%; 2019 年 6 月, 水旱轮作模式下的总氮流失量明显高于旱作和水作模式。由图 3 (b) 可知, 2020 年 5 月—2021 年 4 月, 总氮流失量的差异主要体现在 2020 年 5—8 月和 2021 年 3 月, 旱作模式总氮流失量最大。由图 3 (c) 和图 3 (d) 可知, 不同种植模式总磷流失量排序为: 旱作模式>水旱轮作模式>水作模式, 不同种

植模式在 5—7 月的总磷流失量占全试验时段总磷流失量的 67.78%~78.80%。

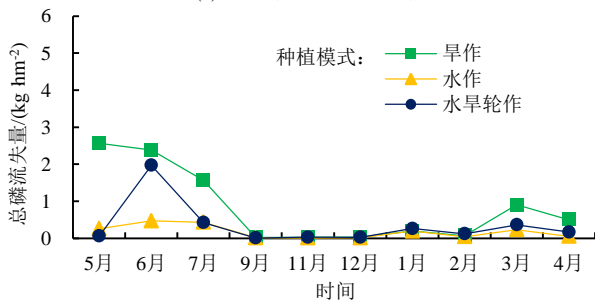
由图 3 (e) 和图 3 (f) 可知, 铵态氮流失量最大的月为 2019 年 6 月, 为水旱轮作模式, 高达 8.1 kg/hm², 明显高于其他种植模式; 这与总氮流失规律一致。由图 3 (g) 可知, 硝态氮流失量最大的是旱作模式, 与其他模式差异较大的月份主要体现在 2019 年 5—6 月及 2020 年 4 月, 旱作模式在这 3 个月的硝态氮流失量占其全试验时段总流失量的 80.83%。从图 3 (h) 可知, 不同种植模式差异较大的月份主要体现在 2020 年 5—6 月, 旱作模式在这 2 个月的硝态氮流失量占全试验时段的 68.19%。



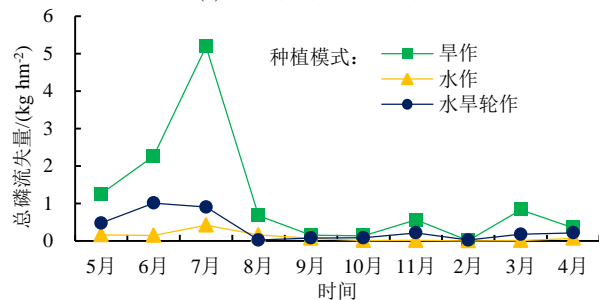
(a) 2019 年 5 月—2020 年 4 月



(b) 2020 年 5 月—2021 年 4 月



(c) 2019 年 5 月—2020 年 4 月



(d) 2020 年 5 月—2021 年 4 月

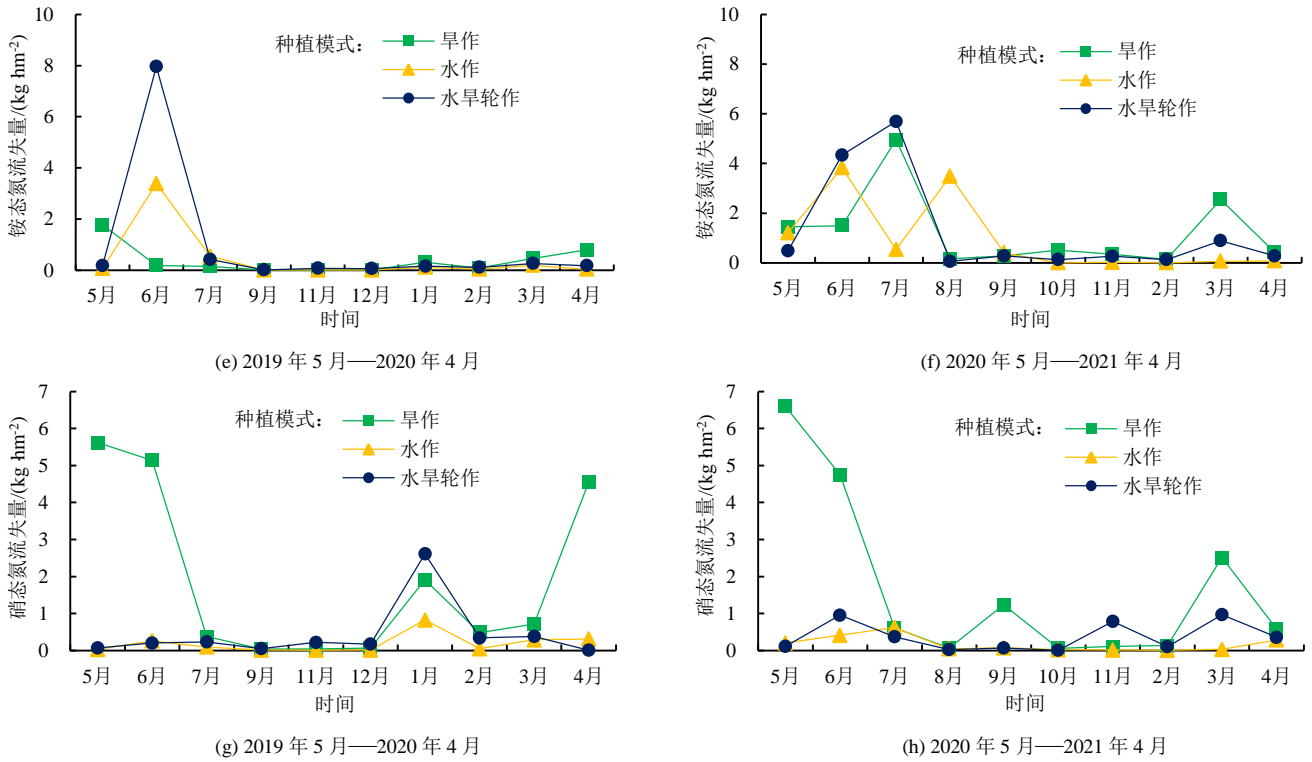


图3 不同种植模式下的氮、磷流失特征

Fig.3 Characteristics of runoff nitrogen and phosphorus losses during each month under different planting modes

2.5 不同种植模式中各作物氮、磷流失量分析

不同种植模式中各作物氮、磷流失量如图4所示。2019年5月—2020年4月，总氮、总磷及硝态氮流失量最大的是空心菜，铵态氮流失量最大的是中稻。硝态氮流失量较多的是空心菜和油菜，分别占早作和水旱轮作模式流失总量的83.03%和81.93%。另外，空心菜、油菜及小白菜硝态氮流失分别是其铵态氮流

流失量的5.39、5.75、4.25倍。在2020年5月—2021年4月，总氮、总磷量及硝态氮流失量最大的作物仍是空心菜，铵态氮流失量最大的作物为中稻。不同种植模式氮、磷流失量主要集中在早作模式的空心菜、水作模式的早稻及水旱轮作模式的中稻；其中，空心菜总氮、总磷、铵态氮及硝态氮流失量分别占早作模式流失总量的78.33%、83.44%、67.66%和79.66%。

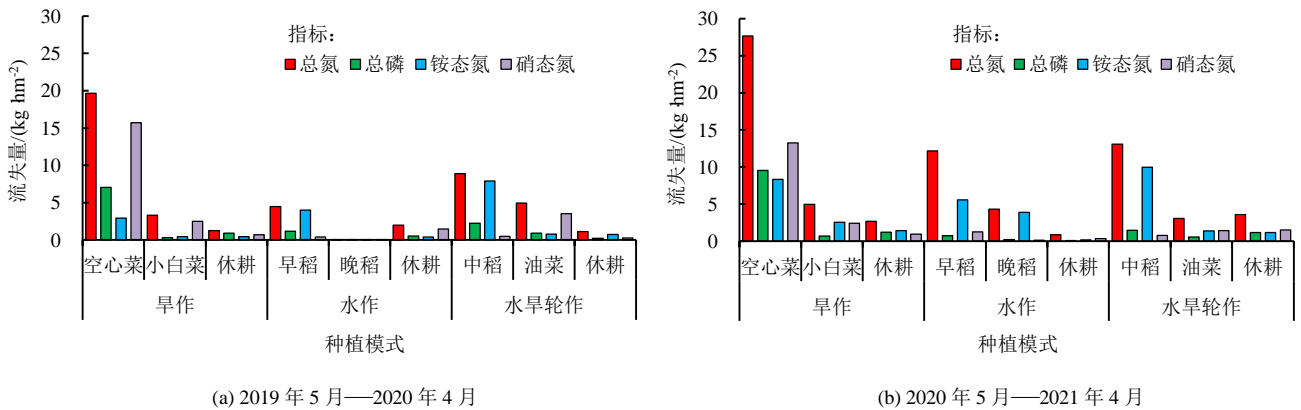


图4 不同种植模式中各作物氮、磷流失量

Fig.4 Analysis of nitrogen and phosphorus losses of various crops under different planting modes

2.6 不同种植模式氮、磷流失总量分析

不同种植模式氮、磷流失总量见表5。总氮、总磷及硝态氮流失量排序为：早作模式>水旱轮作模式>水作模式，与径流量的变化规律一致。而铵态氮流失量与径流量变化规律不一致，以水旱轮作模式最大。从2个试验时段的平均值来看，与水旱轮作模式

相比，早作模式总氮、总磷及硝态氮流失量分别显著增加了71.26%、196.97%和334.15%；水作模式分别显著减少了31.61%、57.58%和56.10%。试验时段和种植模式对总氮、总磷、铵态氮及硝态氮流失量存在显著影响，而试验时段和种植模式的交互作用仅对硝态氮流失量无显著影响。

表 5 不同种植模式下的氮、磷流失总量

Table 5 Total analysis of runoff nitrogen and phosphorus losses under different planting modes

试验时段	种植模式	总氮	总磷	铵态氮	硝态氮
		流失量/ (kg hm ⁻²)	流失量/ (kg hm ⁻²)	流失量/ (kg hm ⁻²)	流失量/ (kg hm ⁻²)
2019 年 5 月— 2020 年 4 月	旱作	24.3a	8.3a	3.8b	18.9a
	水作	6.5c	1.7c	4.5b	1.9c
	水旱轮作	14.9b	3.4b	9.5a	4.3b
2020 年 5 月— 2021 年 4 月	旱作	35.3a	11.4a	12.3a	16.6a
	水作	17.4c	1.1c	9.7b	1.7c
	水旱轮作	19.8b	3.2b	12.6a	3.8b
平均值	旱作	29.8a	9.8 a	8.1b	17.8a
	水作	11.9c	1.4c	7.1b	1.8c
	水旱轮作	17.4b	3.3b	11.0a	4.1b
方差分析					
试验时段		152.3**	25.5**	210.4**	5.0*
种植模式		186.6**	1136.9**	37.7**	475.9**
试验时段×种植模式		8.9*	63.0**	16.6**	2.1 ns

3 讨论

农田径流的发生与自然降雨密不可分。不同种植模式下的地表径流存在较大差异,主要原因是不同种植模式植被覆盖度和田面水层特征不同。本研究发现,6—7 月降雨量较大,不同种植模式产生的径流量也较大,随着降雨量的增加,不同种植模式径流量也随之增加,说明降雨是引起地表径流的主要原因,这与以往研究结论一致^[13-14]。从不同种植模式下的各作物来看,空心菜和早稻的径流量较大,主要是由于空心菜和早稻的生长期均处于降雨量较大的 6—7 月。这与以往研究结论一致^[15-16]。在 3 个种植模式中,旱作模式产流量最大,水作模式最小,旱作模式和水作模式之间的差异主要归因于田间水分状况的不同,水作模式田面具有蓄积雨水的功能,当田面水层超过排水口高度时才会产生径流;而旱作模式在自然降雨条件下只需土壤含水率达到饱和就会产生地表径流;另外在休耕时期,水作模式田面平整,且田面有裂痕,更易下渗,而旱作模式有排水沟,易形成径流,这与前期的研究结果一致^[17]。

一般情况下,降雨强度越大,降雨时间越长,氮、磷流失量也越大。本试验结果表明,不同种植模式下不同月份的氮、磷流失量存在一定差异;氮、磷流失主要集中在 5—7 月,此时降雨量和径流量均处于高水平。氮、磷流失量主要以空心菜、早稻和中稻较大,而这些作物的生长期均经历了 6—7 月的强降雨,说明氮、磷流失特征总体上与降雨量和径流量变化特征一致。进一步分析氮的流失形态发现,旱作物主要流失形态是硝态氮,水稻主要流失形态为铵态氮,这与前人研究结果相似^[18]。本试验中,不同种植模式总氮、

总磷及硝态氮流失量排序为:旱作模式>水旱轮作模式>水作模式,这与倪喜云等^[19]的研究结果相似,主要原因是旱作模式作物种植时间长,休耕期短且产流系数较大,而水作模式休耕期长且产流系数较小^[20]。研究表明,不同种植模式会显著影响养分流失量^[8, 21]。这主要是因为不同种植模式下作物的覆盖度、土壤水层及施肥量之间存在较大差异。施肥会影响径流中的氮、磷流失量^[22];地势平坦,土地肥沃、肥料投入量大的旱地氮、磷流失量远高于水田,而旱地主要种植蔬菜和大田作物^[8],这与本试验结论相似。3 个种植模式肥料投入量也以旱作模式最大,水作模式最小。因此,在后续试验中需要进一步研究施肥量、施肥后短期降雨量以及植被覆盖度等因素对农田氮、磷流失的综合影响。

4 结论

1) 降雨量和径流量主要发生在 6—7 月,降雨量越大,径流量越大。

2) 不同种植模式径流量排序为:旱作模式>水旱轮作模式>水作模式。

3) 不同种植模式不同月份氮、磷流失量存在一定差异,氮、磷流失量主要集中在 5—7 月;旱作物氮流失以硝态氮为主,水稻氮流失以铵态氮为主。

4) 不同种植模式总氮、总磷及硝态氮流失量变化规律与径流量变化规律一致。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献:

- [1] HUANG J, XU C C, RIDOUTT B G, et al. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 159: 171-179.
- [2] 彭石磊, 何丙辉, 王润泽, 等. 自然降雨条件下不同施肥模式和耕作方式对坡耕地紫色土肥力质量的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2018, 35(4): 318-326.
PENG Shilei, HE Binghui, WANG Runze, et al. Effect of soil fertility quality based on different fertilization and tillage patterns in slope cropland of purple soil under natural rainfall[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(4): 318-326.
- [3] 徐新良, 陈建洪, 张雄一. 我国农田面源污染时空演变特征分析[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(12): 157-165.
XU Xinliang, CHEN Jianhong, ZHANG Xiongqi. Analysis on the spatiotemporal evolution characteristics of agricultural non-point source pollution in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(12): 157-165.
- [4] 崔艳智, 高阳, 赵桂慎. 农田面源污染差别化生态补偿研究进展[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(7): 1 232-1 241.
CUI Yanzhi, GAO Yang, ZHAO Guishen. Progress of differentiated ecological compensation policies related to agricultural non-point source pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1 232-1 241.
- [5] 王全九, 杨婷, 刘艳丽, 等. 土壤养分随地表径流流失机理与控制措

- 施研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 67-82.
- WANG Quanjiu, YANG Ting, LIU Yanli, et al. Review of soil nutrient transport in runoff and its controlling measures[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(6): 67-82.
- [6] FRANKLIN D, TRUMAN C, POTTER T, et al. Nitrogen and phosphorus runoff losses from variable and constant intensity rainfall simulations on loamy sand under conventional and strip tillage systems[J]. Journal of Environmental Quality, 2007, 36(3): 846-854.
- [7] ZHANG Xiao, CHEN Xiaomin, ZHANG Wanshun, et al. Impact of land use changes on the surface runoff and nutrient load in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Sustainability, 2022, 14(4): 2 023.
- [8] 刘方谊, 夏颖, 黄敏, 等. 湖北省三峡库区不同种植模式下农田地表径流氮磷流失特征[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 550-558.
- LIU Fangyi, XIA Ying, HUANG Min, et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses from farmlands through surface runoff under different cropping patterns in the Three Gorges Reservoir area of Hubei Province[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(6): 550-558.
- [9] 李涛, 鄢紫薇, 王砚, 等. 丹江口库区不同种植模式下氮磷流失和经济效益分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(5): 35-40.
- LI Tao, YAN Ziwei, WANG Yan, et al. Analysis of nitrogen and phosphorus losses and environmental benefits under different planting patterns in Danjiangkou Reservoir area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5): 35-40.
- [10] 杨任翔, 邱凡, 郑佳舜, 等. 赤红壤蔗坡地坡面径流及溶解态氮磷流失特征[J]. 生态学报, 2022, 42(3): 904-913.
- YANG Renxiang, QIU Fan, ZHENG Jiashun, et al. Characteristics of runoff and the dissolved nitrogen and phosphorus loss in sloping land with planting sugarcane of lateritic soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(3): 904-913.
- [11] 袁培栋, 张鹏程, 何为媛, 等. 模拟降雨下不同农作措施紫色土坡耕地氮磷流失特征[J]. 中国水土保持科学(中英文), 2021, 19(6): 69-76.
- XI Peidong, ZHANG Pengcheng, HE Weiyuan, et al. Response of nitrogen and phosphorus losses to different farming treatments in purple sloping farmland under simulated rainfall[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021, 19(6): 69-76.
- [12] 江西省水利厅. 2021年江西省水资源公报[R]. 江西: 2021.
- Department of Water Resources of Jiangxi Province. Jiangxi Water Resources Bulletin 2021[R]. Jiangxi: 2021.
- [13] 周怡雯, 戴翠婷, 刘空军, 等. 耕作措施及雨强对南方红壤坡耕地侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 49-54.
- ZHOU Yiwen, DAI Cuiting, LIU Yaojun, et al. Effects of cultivation measures and rainfall intensities on the slope erosion in red soil sloping cropland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 49-54.
- [14] 李桂芳, 王坚桦, 谢福倩, 等. 降雨与作物种植方式对赤红壤坡面土壤侵蚀特征的影响[J]. 中国水土保持科学(中英文), 2022, 20(1): 65-73.
- LI Guifang, WANG Jianhua, XIE Fuqian, et al. Effects of rainfall and cropping patterns on the soil erosion characteristics of lateritic red soil slope[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2022, 20(1): 65-73.
- [15] 杨海洋, 袁远, 王江彦, 等. 降雨强度和秸秆还田对淮河流域褐土非点源氮输出影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(3): 75-82.
- YANG Haiyang, YUAN Yuan, WANG Jiangyan, et al. The efficacy of amending soil with straw to reduce nitrogen loss from watersheds under different rainfalls in Huaihe River basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(3): 75-82.
- [16] ADIMASSU Z, LANGAN S, JOHNSTON R, et al. Impacts of soil and water conservation practices on crop yield, Run-off, soil loss and nutrient loss in Ethiopia: Review and synthesis[J]. Environmental Management, 2017, 59(1): 87-101.
- [17] 陈昱, 刘方平, 余雅琴, 等. 鄱阳湖平原不同种植模式下农田水肥流失规律分析[J]. 中国农村水利水电, 2021(12): 239-244.
- CHEN Yu, LIU Fangping, YU Yaqin, et al. An analysis of water and fertilizer loss under different planting patterns in Poyang Lake Plains[J]. China Rural Water and Hydropower, 2021(12): 239-244.
- [18] 王新霞, 左婷, 王肖君, 等. 稻-麦轮作条件下 2 种施肥模式作物产量和农田氮磷径流流失比较[J]. 水土保持学报, 2020, 34(3): 20-27.
- WANG Xinxia, ZUO Ting, WANG Xiaojun, et al. Comparative of two fertilization modes on crop yields and nitrogen/phosphorus runoff losses under rice-wheat rotation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(3): 20-27.
- [19] 倪喜云, 杨苏树, 张华艳, 等. 洱海流域农田不同种植模式氮磷流失研究初报[J]. 云南农业, 2016(2): 43-44.
- [20] 王少丽, 臧敏, 王亚娟, 等. 年径流系数变化特征及预测模型研究[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 56-60, 67.
- WANG Shaoli, ZANG Min, WANG Yajuan, et al. Research on annual runoff coefficient characteristics and prediction model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 56-60, 67.
- [21] 李学艳, 全勇, 龚声信, 等. 昭通渔洞水库流域不同作物种植模式对地表径流、渗漏水中氮磷流失量的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(7): 1 481-1 484.
- LI Xueyan, QUAN Yong, GONG Shengxin, et al. Effects of different crop planting patterns on nitrogen and phosphorus loss in surface runoff and leakage water in Yudong Reservoir in Zhaotong[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(7): 1 481-1 484.
- [22] 毛妍婷, 刘宏斌, 郭树芳, 等. 耕作措施对坡耕地红壤地表径流氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 26-33.
- MAO Yanting, LIU Hongbin, GUO Shufang, et al. Effects of tillage measures on nitrogen and phosphorus loss from surface runoff in red soil on slope farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 26-33.

Impact of Planting Practices on Nitrogen and Phosphorus

Loss Via Surface Runoff in Poyang Lake Basin

CHEN Yu¹, LIU Fangping^{1*}, WU Caiyun¹, WANG Zirong¹, ZHANG Fujian²

(1. Jiangxi Central Station of Irrigation Experiment, Nanchang 330201, China;

2. Agricultural Technology Extension Center of Chongming District, Shanghai 202150, China)

Abstract: 【Objective】 Poyang Lake is one of the largest lakes in southern China but has experienced pollution due to agricultural activities. This paper aims to analyze the changes in nitrogen (N) and phosphorus (P) loss via surface runoff from cropped lands under different planting practices in the basin. **【Method】** For each crop, we compared three planting practices: upland farming, paddy farming, and alternate upland and paddy farming. The experiment

lasted two years, during which we measured precipitation, surface runoff and changes in N and P in the surface runoff. **【Result】** The peak rainfalls occurred in June and July, aligning with the highest flow rates under all three planting practices. In the three planting practices, cabbage and early rice had the highest crop runoff, while pakchoi and late rice had the least, with rape and middle rice between. The runoff coefficient was the largest for cabbage and least for late rice, consistent with the change in rainfall intensity during growth seasons of the crops. The crop runoff of the three planting practices was ranked in the order of upland farming>alternate paddy and upland farming>paddy farming. Compared with paddy farming, upland farming and alternate paddy and upland farming increased the crop runoff by 42.28% and 20.84%, respectively. In all three planting practices, nitrogen and phosphorus loss via the surface runoff occurred from May to July. Water spinach under upland farming lost most total N, total P, and nitrate, while middle rice under alternate paddy and upland farming lost most ammonium nitrogen. The losses of total N, total P, and nitrate N via surface runoff from the three planting practices were consistent with the variations in crop runoff. Nitrogen loss from upland farming is through nitrate leaching, while N loss from the rice fields was mainly ammonium. **【Conclusion】** Upland farming resulted in the highest surface runoff, and N and P losses. These findings have important implications for improving planting practices to improve fertilizer use efficiency and mitigate N and P losses in the Poyang Lake basin.

Key words: natural rainfall; planting patterns; farmland; runoff; nitrogen and phosphorus loss

责任编辑: 韩洋

(上接第 74 页)

Effect of Polypropylene Microplastics on Water and Salt Movement and in Saline Soils

WANG Zhichao^{1,2}, ZHANG Bowen^{1,2}, LI Zhe^{1,2}, CHENG Guangyuan³, LI Wenlu^{1,2}, LI Weiping^{1,2*}

(1. Department of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;

2. Autonomous Region Level Ecological Protection and Comprehensive Utilization Cooperative

Innovation Center for the Inner Mongolia Section of the Yellow River Basin, Baotou 014010, China;

3. Water Conservancy Development Center of Inner Mongolia Ancient Autonomous Region, Hohhot 010020, China)

Abstract: 【Objective】 Polypropylene microplastics are fragments of polypropylene. They exist in soil and have potential impact on soil environment. This paper investigates their influence on water flow and salt redistribution in soil under drip irrigation. **【Method】** The experiment was conducted in cuboid tanks packed by saline soil. Steady water infiltration into the soil was maintained by a Martensian flask; the infiltration rate was controlled at 0.36 L/h by a rotameter. The content of polypropylene microplastics in the soil was 2%, and the salt content was 0.5%, 4% or 7%. **【Result】** Soil water content and initial soil salt content were positively correlated. The average water content in the soil with initial salt content of 7.0% was 9.4% and 11.2% higher than that in soils with initial salt contents of 4.0% and 0.5%, respectively ($P<0.05$). Compared with soil without polypropylene microparticles, the presence of polypropylene microparticles increased soil water content at the depth of 16.6 cm beneath the infiltration point on the soil surface by 6.2%~9.4%, and soil water content at the location 12 cm away horizontally from the infiltration point by 6.2%~7.9% ($P<0.05$), with the increase depending on initial salt content. Compared to control without polypropylene microplastics, existence of polypropylene microplastics also increased soluble salt 163.2% to 326.9% ($P<0.05$), with the increase depending on initial salt content, in addition to the increased soil pH. **【Conclusion】** Polypropylene microplastics increased soil moisture content, salt content and soil pH. These findings demonstrated the impact of polypropylene microplastics on soil properties and the importance of considering them in soil and water management.

Key words: saline soil; microplastic; salt; the moisture content; pH

责任编辑: 赵宇龙