

基于低污染的宁夏引黄灌区13种植模式氮磷平衡分析

刘根红, 许强, 康建宏, 吴宏亮, 赵亚慧

(宁夏大学, 宁夏银川 750021)

摘 要: 针对宁夏引黄灌区农业生产中大量施用化肥对环境及农业退水污染严重的实际, 本试验以宁夏引黄灌区现有小麦/玉米为对照, 通过选择冬小麦复种水稻及组配麦后复种(蔬菜、青贮玉米、油菜等)等13种植模式, 研究不同模式在作物不同生长期土壤氮磷运移规律以及综合效益, 选择利于农业清洁生产的种植模式。结果表明: 相对于单作, 间套作由于增加了田面作物的覆盖时间, 对降低土壤氮磷残留量效果明显; 以土壤氮磷为主要衡量指标, 结合经济效益, 筛选出了适合于该灌区大面积种植, 经济效益较高的四种低污染模式为: 冬小麦复种水稻、春小麦复种芹菜、冬小麦复种青贮、冬小麦复种油菜, 四种模式中尤以冬小麦复种水稻效益最明显, 土壤中氮流失总量比对照低56.2%, 磷流失总量比对照低28.6%。

关键词: 低污染; 种植模式; 氮; 磷

中图分类号: S158.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0001-07

宁夏引黄灌区是宁夏农业的精华之地。灌区农业用水几乎全部来自黄河, 黄河在宁夏境内397 km, 年均引黄河水量70亿 m^3 , 其中农业用水占93%~95%, 年退入黄河水量25亿 m^3 左右。随着工业化、城镇化建设进程加速、人口增加、化肥农药用量、畜牧养殖等排放废弃物的持续增加, 农业污染对黄河水体的影响越来越严重。化肥的大量施用是引起退水氮磷污染的主要原因之一^[1-4], 灌区农田化肥投入量处于较高水平, 化肥施用量年均增长率在3.3%~4.5%。但化肥利用率低于30%。根据已有研究, 灌区氮肥当季作物利用率只有20%~35%^[5], 根据宁夏环保局环境质量报告, 黄河引水中COD、 $NH_4^+ - N$ 和TP的平均浓度分别为2.45 mg/L、0.381 mg/L和0.063 mg/L; 引水带来的COD为18 544 t, 占灌区退水中COD总量的10%左右, $NH_4^+ - N$ 为2 798 t, $NH_4^+ - N$ 的主要污染源是化肥^[6], 占总量的4%左右, TN为2 798 t, 占总量的3%左右, TP为121 t, 占总量的1%左右。黄水引水携带的COD、TN和TP在退水过程中加重了各排水沟污染物承载负荷^[7]。

灌区主要种植小麦、玉米和水稻这三种粮作, 三种作物播种总面积占全灌区总播种面积74.8%, 三种作物均为喜氮磷肥型作物, 因此施用的氮磷肥量比较大, 特别是小麦/玉米, 目前播种三种作物至少需施纯氮肥各约2.38万t, 3.11万t, 1.55万t, 纯五

氮化二磷0.95万t, 1.07万t, 2.7万t, 氮的当季利用率以40%计算, 磷的利用率以20%计算, 每年土壤中至少残留纯氮1.43万t, 1.86万t, 0.93万t, 纯五氮化二磷0.76万t, 0.86万t, 2.16万t, 也就是每年有约4.22万t纯氮、3.78万t纯五氧化二磷可能被淋溶入水体, 造成农田退水严重污染。2007年宁夏环境质量报告指出, 宁夏境内各排水沟均为劣V类水质, 断面超标率100%, 主要污染指标为化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)和氨氮^[8]。引黄灌区农业生产中大量引水灌溉, 有相当部分的水进入土壤后逐步向下运移, 最终会进入地下水, 水分在向下运移的过程中, 所携带的氮素形态浓度均会发生变化, 进而影响农田退水中氮素的污染负荷, 农业面源污染是造成灌区氮类污染物含量居高不下的一个主要原因^[9]。如果通过科学的种植模式使土壤中残留氮磷量下降3%~5%, 就可能使土壤中被淋溶的纯氮量下降0.12~0.21万t, 纯五氧化二磷量下降0.11~0.19万t, 这对于改善退水水质具有重大的意义, 因此本研究针对引黄灌区氮磷残留量较高, 在常规水肥管理水平下, 评价13种主要种植模式氮磷平衡, 在兼顾不同模式产量的同时, 筛选基于低污染的种植模式, 实现农业生产的高产、高效、清洁、环保持续的目标。

1 试验地概况

试验设在宁夏灵武农场, 位于东经105°37'~

收稿日期: 2011-08-21

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项专题“灌区低污染种植模式研究”(2009ZX07212-004-01)

作者简介: 刘根红(1973—)男, 宁夏隆德人, 博士, 副教授, 主要研究方向为作物栽培与耕作学。

106°39', 北纬 37°49' ~ 39°23' 之间, 为黄河冲积平原区, 海拔 1 000 m 左右, 土壤类型为灌淤土, 日照充足, 温差较大, 属大陆性气候, 灌区年均气温 8℃ ~ 9℃, 作物生长季节 4 ~ 9 月大于等于 10℃ 的积温为 3 200℃ ~ 3 400℃, 无霜期 164 d, 年均降水量 180 ~ 200 mm。该区属于引黄灌区典型代表区, 以种植业为主, 小麦、玉米和水稻三大作物占该区种植总面积的 85%, 肥料利用率较低, 磷肥不到 20%, 氮肥 30% 左右, 水田灌水约 1/5 ~ 1/3 退水, 旱田较少, 肥料随退水流失约 10% ~ 20%。

2 材料与方法

2.1 试验材料与方法

本试验以小麦套玉米为对照, 选取了春小麦、春小麦/大豆、春小麦-黄瓜、春小麦-大白菜、春小麦-芹菜、春小麦-青贮、冬小麦-青贮、玉米、水稻、冬小麦-油菜、冬小麦-水稻、冬小麦-油菜 12 种植模式, 在田间常规管理水平下, 测定土壤中全氮、全磷的变化规律。试验地选在宁夏灵武农场, 试验地 0.534 hm², 小区面积 80 m², 保护行 0.5 m, 试验采用随机区组设计。在各模式不同作物生长期, 对 0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 90 cm、90 ~ 120 cm 土层全氮和全磷进行测定, 在此基础上加权求得 0 ~ 120 cm 土层全氮和全磷量, 同时分别测定不同作物茎秆、籽粒和叶中全氮和全磷量, 同时分别测定不同部分的干重, 加权求得作物总氮和总磷的吸收量, 利用公式: 土壤淋溶氮磷量 = 作物生长期间施肥总量 + 播前土壤氮磷总量 - 收获后土壤氮磷总量 - 作物吸收氮磷总量, 进一步计算不同种植模式的氮磷平衡。

2.2 肥水管理

每种模式播前每 666.7 m² 施 3 000 kg 腐熟的有机肥做底肥。

冬小麦播种前每 666.7 m² 施有机肥 3 000 kg、过磷酸钙 50 kg, 二铵 25 kg 做底肥, 10 月 20 日左右追尿素 5 kg/666.7 m², 翌年 3 月 5 日左右采用机播追尿素 10.6 kg/666.7 m², 4 月 20 日左右追尿素 6.2 kg/666.7 m²。

冬小麦出苗后 11 月 20 日灌水一次, 灌水量 140 m³/666.7 m², 翌年 4 月 20 日结合追肥灌水 130 m³/666.7 m², 5 月 20 日结合追肥灌水 130 m³/666.7 m², 全生育期冬小麦灌水量 300 ~ 400 m³/666.7 m²。

复种的水稻插秧前每 666.7 m² 施二铵 50 kg, 7 月 10 日左右水稻拔节时追尿素 10 kg, 8 月底追尿素 (N) 5 kg。

春小麦/玉米每 666.7 m² 施 10 kg、过磷酸钙 40 kg 做底肥, 小麦苗期每 666.7 m² 追尿素 10 kg, 灌水一次, 拔节期追尿素 5 kg, 灌水一次, 玉米苗期 666.7 m² 追尿素 10 kg, 灌水一次, 大喇叭口期追尿素 15 kg。灌水一次。

套作大豆施肥同套作的春小麦, 麦后复种的底肥每 666.7 m² 施尿素 10 kg, 过磷酸钙 20 kg, 追肥每 666.7 m² 尿素 10 kg。

冬小麦-水稻: 播种前每 666.7 m² 施 3 000 kg 腐熟有机肥。春小麦 3 月 5 日播种, 7 月 15 日收获, 玉米 4 月 20 日播种, 套种大豆 4 月 20 日播种, 10 月中旬收获, 春小麦复种黄瓜、芹菜 7 月 24 日移栽, 大白菜 7 月 24 日播种, 10 月底收获, 冬小麦复种各模式在 7 月 5 日播种, 10 月中旬收获。

3 各种模式土壤全氮磷含量的变化

3.1 不同模式土壤全氮含量的变化

土壤中的全氮分为有机氮和无机氮, 通过测定土壤中全氮量可以反映土壤氮素残留水平, 土壤中 0 ~ 120 cm 全氮量如图 1。

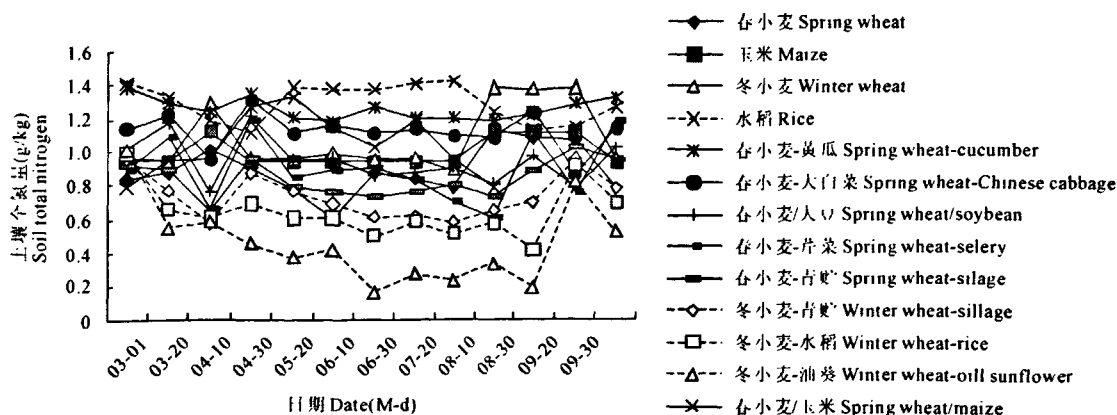


图 1 几种模式生长期间土壤 0 ~ 120 cm 全氮量变化

Fig.1 Total nitrogen of soil depth from 0cm to 120 cm variation with time for different patterns

由图1看出施底肥和追肥后各模式全氮量从播种到6月初变化幅度较大,各模式在5月10日左右有一高峰。在四月中旬春小麦处于分蘖期,吸收氮素较多,土壤全氮含量为0.6~0.7 g/kg。麦后复种芹菜对降低土壤中全氮含量效果明显,范围在0.7~1.2 g/kg。在9月下旬施入了大量的肥料使春麦-大白菜、春麦-芹菜、春麦/大豆、春麦-青贮、冬麦-青贮有一高峰期在1.0~1.2 g/kg之间,冬小麦播种前土壤全氮稳定在0.6~0.8 g/kg左右,在8月底进行整地培土并施底肥,土壤氮含量升高,冬小麦-油葵对降低土壤氮含量效果最明显,土壤残留量最低,整个生育期都保持在0.15~0.8 g/kg。冬小

麦收获后由于自然返还,土壤全氮量升高。冬小麦-水稻在生育期内氮含量主要在0.5~1.0 g/kg范围内。玉米后期吸收氮素有所降低,春小麦-芹菜在9月中旬对降低土壤中全氮含量效果明显,从各模式对全氮影响的效果上看,春小麦-芹菜、冬小麦-青贮、冬小麦-水稻、冬小麦-油葵对降低0~120 cm土壤中全氮含量效果明显,尤其是冬小麦-油葵。

3.2 不同模式土壤全磷含量的变化

土壤中的全磷主要是难溶性磷和可溶性磷酸盐,通过测定土壤全磷量可以反映土壤磷素残留水平,土壤0~120 cm全磷水平如图2。

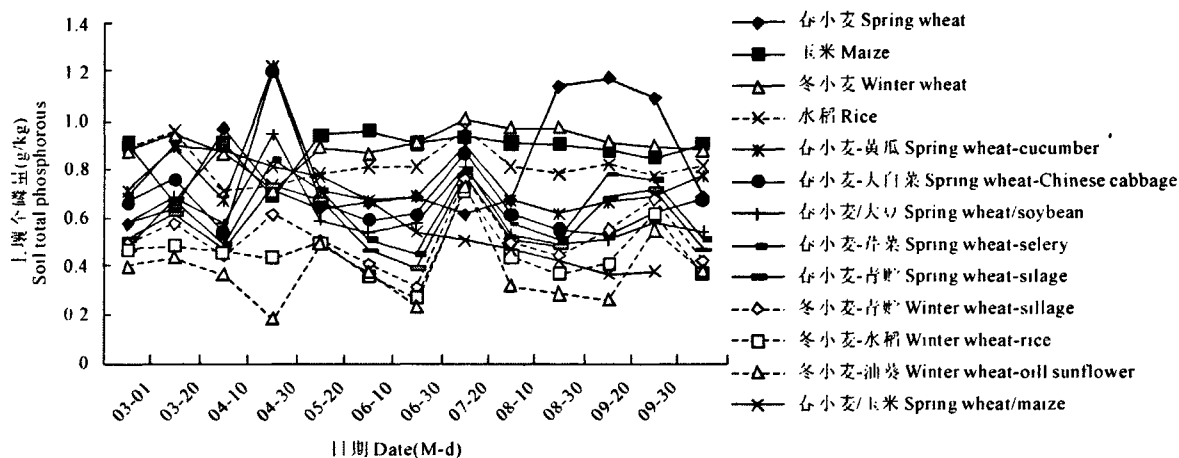


图2 各模式0~120 cm土壤全磷量随时间变化

Fig.2 Total phosphorus of soil depth from 0 cm to 120 cm variation with time for different patterns

由图2可知有如下规律:全生育期内,各种模式在土壤中全磷量的变化较大,春小麦-黄瓜、春小麦-大白菜、春小麦/大豆、春小麦、春小麦-青贮在拔节期和孕穗期吸收磷素有一峰值,土壤磷含量在0.6~1.3 g/kg之间,春小麦在生长季节后期由于地面无作物覆盖,土壤各层全磷量升高,可能是因为麦秆还田的原因,从0.6 g/kg到1.2 g/kg,在7月各模式土壤全磷量有一峰值,在0.4~0.9 g/kg之间,从各模式对不同层次磷量降低水平上看,玉米需肥量大,整个生育期内磷含量变化幅度不大,春小麦复种芹菜和黄瓜土壤生长季末含磷量水平较低,对土壤全磷有一定的吸收。冬小麦-青贮、冬小麦-油葵、冬小麦-水稻在整个生育期内对全磷有较大的吸收量,特别是冬小麦-油葵,保持在0.2~0.8 g/kg左右。

4 不同种植模式氮磷平衡及其分析

4.1 各种模式不同土壤层次总氮量及氮素平衡

不同模式下种植的作物吸收土壤中氮的量不同,它们对降低土壤中不同深度的氮含量的效果各

不相同。表1和表2分别显示了各模式播前和收后土壤不同层次总氮量和氮素平衡关系。

由表1可以得出:相对于单作,采用套作和复种模式种植的作物都可以有效地降低土壤中氮的残留量,而冬小麦-油葵在0~60 cm与对照基本相同。0~30 cm土层,春小麦/大豆、春小麦-青贮和冬小麦-水稻在收获后土壤中氮的残留量比对照低,分别为482.7 kg/hm², 539.6 kg/hm²和527.8 kg/hm²,对降低土壤中全氮含量效果明显;30~60 cm土层冬小麦-水稻和春小麦/大豆土壤中氮的残留量较低,大豆生育期里对氮的需求较大;在复种模式下深根系作物油葵对较深的90~120 cm全氮吸收量较高,其土壤氮的残留量为169.1 kg/hm²,与对照接近,而单作模式下小麦和玉米整个生育期对养分要求较高且集中,90~120 cm层氮残留量低。浅根系作物小麦及叶菜类对全氮的主要影响层在0~30 cm;各模式从整体来看冬小麦-水稻收后土壤氮残留量较低,为573.8 kg/hm²,春小麦/大豆的为566.25 kg/hm²。

表 1 各种模式土壤不同层次总氮量 (kg/hm²)
Table 1 Total nitrogen variation in different soil depth

种植模式 Cropping pattern	0 ~ 30 cm 土层 0 ~ 30 cm soil depth		30 ~ 60 cm 土层 30 ~ 60 cm soil depth		60 ~ 90 cm 土层 60 ~ 90 cm soil depth		90 ~ 120 cm 土层 90 ~ 120 cm soil depth	
	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting
春小麦 Spring wheat	1012	1295.9	782.4	1175.9	644.7	661.8	227.2	147.8
玉米 Maize	1012	1236.3	782.4	1143.7	644.7	657.2	227.2	170.6
冬小麦 Winter wheat	1012	1331.4	782.4	1186.9	644.7	648.3	227.2	109.8
水稻 Rice	1012	1013.5	782.4	1025.4	644.7	643.2	227.2	261.1
春小麦 - 黄瓜 Spring wheat - cucumber	1012	833.3	782.4	925.7	644.7	624.0	227.2	322.4
春小麦 - 大白菜 Spring wheat - Chinese cabbage	1012	945.4	782.4	990.2	644.7	640.9	227.2	291.7
春小麦/大豆 Spring wheat/soybean	1012	482.7	782.4	792.1	644.7	627.4	227.2	362.8
春小麦 - 芹菜 Spring wheat - selery	1012	630.3	782.4	828.8	644.7	633.2	227.2	437.7
春小麦 - 青贮 Spring wheat - silage	1012	539.6	782.4	785.0	644.7	636.4	227.2	487.8
冬小麦 - 青贮 Winter wheat - silage	1012	765.3	782.4	893.0	644.7	626.7	227.2	360.4
冬小麦 - 水稻 Winter wheat - rice	1012	527.8	782.4	772.1	644.7	672.5	227.2	322.8
冬小麦 - 油菜 Winter wheat - oill sunflower	1012	1159.5	782.4	1092.0	644.7	630.6	227.2	169.1
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	1012	1171.9	782.4	1093.0	644.7	620.0	227.2	147.1

表 2 各模式 0 ~ 120 cm 氮素平衡表 (kg/hm²)
Table 2 Nitrogen equilibrium of 0 ~ 120 cm soil depth in different patterns

种植模式 Cropping pattern	播前总氮量 Total nitrogen before planting	收后总氮量 Total nitrogen after harvesting	施氮量 Total nitrogen applied	作物吸收氮量 Total nitrogen absorbed by crops	流失氮量 Total nitrogen flow away
春小麦 Spring wheat	2666.3	2647.3	225	206	38.0
玉米 Maize	2666.3	2628.6	360	341	56.7
冬小麦 Winter wheat	2666.3	2593.2	204	185	92.1
水稻 Rice	2666.3	2572.8	231	212	112.5
春小麦 - 黄瓜 Spring wheat - cucumber	2666.3	2496.1	225	325	70.2
春小麦 - 大白菜 Spring wheat - Chinese cabbage	2666.3	2563.7	225	300	27.6
春小麦/大豆 Spring wheat/soybean	2666.3	2509.7	225	315	66.6
春小麦 - 芹菜 Spring wheat - selery	2666.3	2532.9	225	325	33.4
春小麦 - 青贮 Spring wheat - silage	2666.3	2545.6	225	314	31.7
冬小麦 - 青贮 Winter wheat - silage	2666.3	2506.8	204	325	38.5
冬小麦 - 水稻 Winter wheat - rice	2666.3	2489.8	339	439	76.5
冬小麦 - 油菜 Winter wheat - oill sunflower	2666.3	2522.2	204	309	39.1
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	2666.3	2480.1	225	322	89.2

由表 2 的数据可以得出:冬小麦 - 水稻收获后土壤总氮量与对照没有显著差异,其余模式收获后土壤氮含量均高于对照,复种叶菜类作物、冬小麦 - 青贮、冬小麦 - 水稻和冬小麦 - 油菜吸肥量较高,其中冬小麦 - 水稻最高为 439 kg/hm²,复种芹菜和大白菜氮的流失量最小,分别为 27.6 kg/hm² 和 33.4 kg/hm²,单作水稻氮流失量最多 112.5 kg/hm²,冬小麦 - 水稻收获后土壤总氮量较低为 2 489.8 kg/hm²,

与对照基本相同,生育期内吸收的氮含量较多为 439 kg/hm²,但是流失量也较高为 76.5 kg/hm²,主要是稻田退水带走了大量氮,综上所述:能有效降低土壤氮效益的种植模式有可能为冬小麦-青贮、冬小麦-水稻和冬小麦-油葵。

4.2 各种模式不同土壤层次总磷量及磷素平衡

不同模式下种植的作物吸收土壤中磷的量也不同,它们对降低土壤中不同深度的磷含量的效果各不相同。表 3 和表 4 分别显示了各模式播前和收后土壤不同层次总磷量和磷素平衡关系。

表 3 各种模式土壤不同层次总磷量(kg/hm²)
Table 3 Phosphorus equilibrium of 0120cm soil depth in different patterns

种植模式 Cropping pattern	0 ~ 30 cm 土层 0 ~ 30 cm soil depth		30 ~ 60 cm 土层 30 ~ 60 cm soil depth		60 ~ 90 cm 土层 60 ~ 90 cm soil depth		90 ~ 120 cm 土层 90 ~ 120 cm soil depth	
	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting	播前 Before planting	收后 After harvesting
春小麦 Spring wheat	562.5	757.3	820.5	967.5	611.2	593.625	364.2	369.8
玉米 Maize	562.5	815.7	820.5	995.5	611.2	591.325	364.2	337.1
冬小麦 Winter wheat	562.5	683.3	820.5	928.8	611.2	590.35	364.2	401.9
水稻 Rice	562.5	254.7	820.5	714.2	611.2	589.6	364.2	615.1
春小麦-黄瓜 Spring wheat - cucumber	562.5	952.9	820.5	1061.7	611.2	586.4	364.2	261.2
春小麦-大白菜 Spring wheat - Chinese cabbage	562.5	705.5	820.5	937.3	611.2	585.175	364.2	383.0
春小麦/大豆 Spring wheat/soybean	562.5	389.6	820.5	774.0	611.2	574.3	364.2	524.7
春小麦-芹菜 Spring wheat - selery	562.5	892.3	820.5	1024.5	611.2	572.75	364.2	271.0
春小麦-青贮 Spring wheat - silage	562.5	568.8	820.5	863.1	611.2	573.425	364.2	433.7
冬小麦-青贮 Winter wheat - sillage	562.5	502.2	820.5	828.9	611.2	571.675	364.2	464.4
冬小麦-水稻 Winter wheat - rice	562.5	434.4	820.5	793.8	611.2	569.1	364.2	494.5
冬小麦-油葵 Winter wheat - oil sunflower	562.5	1086.3	820.5	1127.7	611.2	585.125	364.2	192.5
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	562.5	705.5	820.5	941.5	611.2	593.5	364.2	395.5

由表 3 可以得出:相对于单作,采用套作和复种模式种植的作物都可以有效地降低土壤中氮的残留量,是因为单作作物收获后土壤没有其他覆盖,土壤磷含量较高。单作水稻、春小麦/大豆、冬小麦水稻对 0 ~ 30 cm 磷素吸收量较多,分别为 254.7 kg/hm²、389.6 kg/hm² 和 434.4 kg/hm²。浅根类作物和叶菜类对 0 ~ 30 cm 磷有一定吸收,但收获后 90 ~ 120 cm 土层总磷残留量较大;复种黄瓜及芹菜对土壤深层磷有一定吸收,收获后 90 ~ 12 cm 磷残留量为 261.2 kg/hm² 和 271.0 kg/hm²,此外,冬小麦-油葵对 90 ~ 120 cm 土层磷吸收量相对于其他模式最大,为 192.5 kg/hm²。综上所述:能有效降低土壤氮效益的种植模式为春小麦/大豆、春小麦-青贮、冬小麦-青贮、冬小麦-水稻和冬小麦-油葵。

由表 4 可得:除单作外,其余种植模式下作物收后土壤总磷都低于春小麦/玉米,冬小麦-水稻为 2 276.4 kg/hm²,冬小麦-青贮 2 286.7 kg/hm²,春小麦-芹菜 2 291.0 kg/hm²,春小麦-青贮 2 293.7 kg/hm²,春小麦/大豆 2 297.2 kg/hm²,以上 5 种植模式收后土壤总磷量较低。其中冬小麦-水稻在生育期内吸肥量最高为 216 kg/hm²;收获后磷流失量最小的为春小麦-芹菜 0.4 kg/hm²,复种水稻和油葵土壤磷流失量分别为 1.0 kg/hm² 和 0.9 kg/hm²。综合来看:各模式在其生育期内对磷素的利用较好的有冬小麦-水稻、冬小麦-青贮、春小麦-芹菜,这几种模式能有效降低土壤总磷含量,其中冬小麦-水稻、冬小麦-油葵较为突出。

表 4 各模式 0~120 cm 磷素平衡表 (kg/hm²)
Table 4 Phosphorous equilibrium of 0120cm soil depth in different patterns

种植模式 Cropping pattern	播前总磷量 Total phosphorous before planting	收后总磷量 Total phosphorous after harvesting	施磷量 Total phosphorous applied	作物吸收磷量 Total phosphorous absorbed by crops	流失磷量 Total phosphorous flow away
春小麦 Spring wheat	2358.4	2374.5	90	73	0.9
玉米 Maize	2358.4	2365.3	120	112	1.1
冬小麦 Winter wheat	2358.4	2361.4	90	86	1.0
水稻 Rice	2358.4	2358.4	120	119	1.0
春小麦-黄瓜 Spring wheat-cucumber	2358.4	2345.6	120	132	0.8
春小麦-大白菜 Spring wheat-Chinese cabbage	2358.4	2340.7	120	137	0.7
春小麦/大豆 Spring wheat/soybean	2358.4	2297.2	150	210	1.2
春小麦-芹菜 Spring wheat-selery	2358.4	2291.0	120	187	0.4
春小麦-青贮 Spring wheat-silage	2358.4	2293.7	120	184	0.7
冬小麦-青贮 Winter wheat-sillage	2358.4	2286.7	120	191	0.7
冬小麦-水稻 Winter wheat-rice	2358.4	2276.4	135	216	1.0
冬小麦-油葵 Winter wheat-oill sunflower	2358.4	2340.5	120	137	0.9
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	2358.4	2374.0	210	193	1.4

5 各模式中小麦产量构成因素及产量结果

小麦的单位面积产量是由单位面积穗数、每穗粒数和粒重构成的。由不同模式中小麦产量构成因素表可以看出:小麦穗长有一定差异,其中冬小麦-油葵为 10.49 cm,春小麦-大白菜为 10.57 cm。冬

表 5 不同模式的产量构成表 (t/hm²)

Table 5 Yields in different patterns

模式 Cropping pattern	粮食产量 Yield of grain crops	饲料产量 Yield of forage crops	经济作物产量 Yield of economic crops
春小麦 Spring wheat	7.50	0.00	0.00
玉米 Maize	9.00	0.00	0.00
冬小麦 Winter wheat	6.80	0.00	0.00
水稻 Rice	10.50	0.00	0.00
春小麦-黄瓜 Spring wheat-cucumber	7.50	0.00	7.50
春小麦-大白菜 Spring wheat-Chinese cabbage	7.50	0.00	22.50
春小麦/大豆 Spring wheat/soybean	7.50	0.00	2.70
春小麦-芹菜 Spring wheat-selery	7.50	0.00	15.00
春小麦-青贮 Spring wheat-silage	7.50	45.00	0.00
冬小麦-青贮 Winter wheat-sillage	6.80	45.00	0.00
冬小麦-水稻 Winter wheat-rice	11.30	0.00	0.00
冬小麦-油葵 Winter wheat-oill sunflower	6.80	0.00	2.25
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	7.50	0.00	9.00

小麦千粒重较高为 41.40 g,经济系数为 0.47,生物产量较高的是春小麦为 3.04 g,其他产量构成因素变化不明显。

由不同模式产量构成表可以看出:除春小麦-黄瓜的经济作物产量略低于对照外,春小麦复种蔬菜的经济作物产量比其他模式效果显著,冬小麦-水稻的粮食产量是 13 种植模式中最高,春小麦-青贮和冬小麦-青贮的饲料产量相同,但后者粮食产量较低,冬小麦-油葵的经济作物产量为 2.25 t/hm²,总产量较低。综合来看春小麦-大白菜、春小麦-芹菜、冬小麦-水稻、冬小麦-油葵这四种模式的经济产量较显著。

6 结论与讨论

1) 采用间套复种植模式可以降低土壤氮磷残留。

2) 冬小麦-青贮、冬小麦-水稻、冬小麦-油葵和春小麦-芹菜对降低土壤中氮磷残留效果明显。

宁夏灌区由于大量使用化肥,农业面源污染严重。一般认为,土壤氮磷残留量过高,会使土壤结构变差,引起农田退水污染。本试验表明采用间套复种植模式可以有效降低土壤氮磷残留量,复种叶菜类作物对土壤浅层氮磷吸收效果显著,如春小麦-芹菜,其氮磷流失量分别为 33.4 kg/hm² 和 0.4 kg/hm²。这与张爱平^[10]统计灌区氮磷流失量基本吻合,而冬小麦复种作物不但有效利用土壤,改善地力,而且地面覆盖率高,有效地防止养分流失,减少土壤氮磷残留量。相关研究表明单作作物由于收获

后没有复种,土壤残留氮磷量较高,麦后复种蔬菜对降低0~40 cm土壤氮磷效果明显,本试验所得结论与相关研究结论一致,而冬小麦复种作物模式对降低土壤氮磷残留量和退水污染效果还需进一步研究确定,以充分挖掘冬小麦复种模式低污染效益的潜力,提高氮磷利用效率,减少氮磷对环境的污染。减少土壤氮磷残留量,控制退水污染具有迫切的现实作用和深远意义。积极探索与推进农业退水污染总量控制方案制约下的低污染结构优化模式和较大尺度地域水质水量联合调控技术示范,加速灌区退水污染源头控制技术体系的全面形成。农田退水污染防治尚处于起步阶段,缺乏相应的管理研究和实践,因此加强其防治措施的研究十分紧迫,借鉴国内外非点源污染防治措施,结合灌区农田退水污染特点,加强农用化学物质的管理,合理施用化肥配合施用有机肥,可以提高地力,减少农田退水污染^[11-12]。

参考文献:

[1] 章力建,侯向阳.我国农业立体污染防治研究进展[J].作物杂

- 志,2005,(5):1-3.
- [2] 章力建,朱立志.我国“农业立体污染”防治对策研究[J].农业经济问题,2005,(2):4-7.
- [3] 章力建,王庆锁.中国西部生态农业发展方略[J].北京:气象出版社,2004.
- [4] 章力建,蔡典雄.农业立体污染及其防治研究探讨[J].中国农业科学,2005,38(2):350-357.
- [5] 刘根红.宁夏引黄灌区6中旱作模式生长期土壤氮磷变化规律研究[J].农业科学研究,2011,32(1):31-34.
- [6] 刘国强,杨世琦.宁夏引黄灌区农田退水污染现状分析[J].灌溉排水学报,2010,29(1):1.
- [7] 张爱平,杨世琦.宁夏引黄灌区水体污染现状及污染源解析[J].中国生态农业学报,2010,18(6):4.
- [8] 杨淑静,张爱平.宁夏灌区农业非点源污染情况调查与原因分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):1-2.
- [9] 张爱平.宁夏引黄灌区稻田退水氮磷污染研究[D].北京:中国农业科学院,2009.
- [10] 张爱平,杨世琦.不同供氮水平对春小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J].中国农学通报,2009,25(17):137-142.
- [11] 张夫道.正确认识现代农业中的有机肥料问题[J].农资科技,2003,(5):8.
- [12] 杨淑静,张爱平.农业非点源污染现状分析及国内外研究进展[J].中国农业气象,2009,30(增1):82-85.

Analysis of equilibrium between nitrogen and phosphorus in thirteen planting patterns in the area irrigated with Yellow River water in Ningxia based on low pollution

LIU Gen-hong, XU Qiang, KANG Jian-hong, WU Hong-liang, ZHAO Ya-hui

(Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: In the face of the serious pollution caused by fertilizer application to environment and agricultural recession water, a test was conducted to explore soil nitrogen and phosphorus equilibrium regulation and economic valuation for thirteen planting patterns selected from traditional patterns such as planting rice after winter wheat harvest etc and assembled patterns such as cultivating vegetables and silage corn and oil sunflower and so on during different crops growing seasons compared with spring wheat intercropped with corn for cleaning agricultural production. The outcome showed as follows: Intercropping patterns were beneficial to reducing soil nitrogen and phosphorus amounts on account of prolonging crops covering time during crops growing season, and four cropping patterns of planting rice after winter wheat harvest, planting celery after winter wheat harvest, planting silage after winter wheat harvest and planting oil sunflower after winter wheat harvest were selected based on economic efficiency and less soil nitrogen and phosphorus amounts. The pattern of planting rice after winter wheat harvest was the optimum among four patterns because the amount of soil nitrogen loss was 56.2% less than the control and that of soil phosphorus was 28.6% less than the control after cultivation.

Keywords: low pollution; nitrogen; phosphorus; planting pattern