

宁夏自流灌区农作物氮磷低污染 种植结构优化

刘根红, 许 强, 乔 娜, 康建宏, 吴宏亮
(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等问题, 在前期试验基础上, 运用线性规划方法, 以降低土壤氮磷流失量, 兼顾产量效益条件下对宁夏自流灌区现有种植业结构进行了优化研究。结果表明: 宁夏灌区主要种植模式的经济效益单作水稻及冬小麦-水稻较对照春小麦/玉米分别高 36.8% 和 28.2%; 氮流失量冬(春)小麦-青贮、冬(春)小麦-蔬菜、单作玉米、油葵较对照小麦/玉米分别低 56.8%、50%、36.4% 和 36.4%; 磷流失量冬(春)小麦-青贮、蔬菜、冬(春)小麦-油葵分别比对照低 50%、42% 和 35.7%。优化的种植业结构播种面积为春小麦/玉米 3.8 万 hm^2 、蔬菜 5.5 万 hm^2 、玉米 13.5 万 hm^2 、水稻 6.7 万 hm^2 、冬小麦-青贮 1.09 万 hm^2 、油葵 4 万 hm^2 。在其播种面积条件下, 结合灌区现有的种植条件与技术, 进行作物间合理组配, 可以在保证经济效益条件下同时较大幅度降低土壤氮磷流失量。

关键词: 氮; 磷; 低污染; 种植模式; 宁夏; 自流灌区
中图分类号: S344 **文献标志码:** A

Cultivation structure optimization of crops with low nitrogen and phosphorus pollution in irrigated Yellow River region of Ningxia

LIU Gen-hong, XU Qiang, QIAO Na, KANG Jian-hong, WU Hong-liang
(Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Because the environment and agricultural water recession polluted severely by fertilizer applied through agricultural production, to reduce losses of soil nitrogen and phosphorus, as well as to improve economic benefits, cultivation structure was optimized in this research using a linear programming method based on a previous trial result. The results showed that the economic benefits of rice and winter wheat-rice were 36.8% and 28.2% higher respectively than the control of spring wheat/corn, respectively. The amounts of nitrogen loss for cultivation patterns of winter/spring wheat-silage, winter/spring wheat-vegetables, solely corn and oil sunflower were reduced by 56.8%, 50%, 36.4% and 50%, respectively from that of wheat/corn. The amounts of phosphorus loss for patterns of winter/spring wheat-silage, vegetables, and winter/spring wheat-oil sunflower were 50%, 42%, and 35.7% lower than that of wheat/corn, respectively. The areas for different cultivation patterns after optimization were as follows: 38 000 hectares sowing area for spring wheat/corn, 10 900 hectares for winter wheat-silage, 6 700 hectares for rice, 55 000 hectares for vegetables, 135 000 hectares for corn, and 40 000 hectares for oil sunflower. Rational field arrangement combined with current cultivation conditions and technologies might be helpful for economy development and minimize nitrogen and phosphorus losses.

Keywords: nitrogen; phosphorus; low pollution; planting patterns; Ningxia; irrigated Yellow River region

近年来, 农业面源污染已成为人们普遍关注的环境问题^[1], 农业生产中过量施用化肥、农药是重要原因之一^[2]。据统计, 在欧洲, 农业活动所排放的氮占 50%~70%; 在美国每年因地表径流损失的氮素

收稿日期: 2014-12-10
基金项目: 宁夏大学校自然科学基金
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。E-mail: liu_genhong@163.com。

为 450 万 t^[4],英国水体中 70% 以上的硝酸盐来自于农业^[5-6];瑞典水体氮来自农业的占 60% ~ 87%^[7];芬兰有 20% 的湖泊水质均有恶化现象^[8]。伊利诺斯州和加利福尼亚的一些地区,井水中的硝态氮含量已达到了危害人类健康的程度^[9]。根据 2010 年全国污染源普查公报,我国年排放总氮 472.89 万 t,总磷 42.32 万 t。根据调查全国的 532 条河流中有 80% 受到不同程度的氮污染^[10]。因此,以水环境为重要内容的农业面源污染已经引起广泛关注。

宁夏自流灌区地处西北内陆,由青铜峡灌区和卫宁灌区组成,灌溉面积 43.5 万 hm²,是宁夏主要农产品生产基地,宁夏黄灌区每年从黄河引水量超过 70 亿 m³,耗水量为 30 ~ 35 亿 m³,排量为 35 ~ 40 亿 m³,农业灌溉面积 55 万 hm²。其境内有大小排水沟 200 余条,在接纳大量工业、农业废水后,除少数几条排水沟有监测的断面控制外,其余的排水沟均无控制地排入黄河,造成灌区的水体质量明显下降^[12]。

面源污染相关研究表明我国受化肥污染较重的耕地已有 133 万 hm²,每年化肥使用量达 4 700 万 t,施入土壤中的氮 40% ~ 50% 流失进入水体或分解进入空气,每年有 123.5 万 t 氮通过地表水进入江河湖泊,农业肥料对水体的污染已成为一个倍受人们关注的问题^[13]。

研究表明,间混套作可以利用作物营养异质特性及竞争机制,有效提高土壤氮磷肥利用率,相应降低化肥在土壤中残留量^[14-16]。小麦/玉米/大豆套作对小麦根系分泌有机酸和可溶性糖有促进作用,提高了小麦对氮素的吸收^[17-18]。木薯 + 玉米模式径流水中的总磷、总钾、硝态氮流失量最大;木薯 + 花生模式径流水中的养分流失量总磷流失量最多^[19]。华北区冬小麦 - 夏玉米一年两熟常规模式氮肥利用率均较低,春玉米一熟模式水氮消耗量最小,水氮利用率较高^[20]。对磷的竞争能力玉米/大豆套作模式强于玉米/甘薯模式^[21]。总之,不同种植模式对氮磷肥的吸收存在差异,使土壤及流失氮磷量也不同,运用科学种植模式降低土壤氮素,是农业清洁生产的可行之路。

课题组前期对宁夏自流灌区不同种植模式氮磷运移规律研究表明,不同种植模式土壤氮磷残留量不同,退水带出量不同,总体表现为水田多于旱田,复种后茬少施化肥可以有效降低土壤中氮磷残留量,从而减少退水中带出量^[22]。因此,在此研究基础上,结合灌区种植结构现状与政策,运用科学方

法,进一步探索灌区经济、高效、清洁的作物种植业结构,为灌区现代可持续农业提供技术支持,具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏自流灌区海拔 1 000 ~ 1 100 m,年降水量 200 ~ 300 mm,年平均温度 9℃ 左右,≥ 10℃ 积温 3 000℃ ~ 3 200℃,无霜期 140 ~ 160 d。土壤类型为灌淤土,日照充足,温差较大,属大陆性气候,小麦、玉米和水稻三大作物播种面积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,播前土壤总氮量 2 666.3 kg·hm⁻²,总磷量 562.5 kg·hm⁻²。

1.2 试验设计

本试验于 2014 年春季设置春小麦/玉米(对照)、冬小麦 - 西红柿、西红柿、水稻、玉米、冬小麦 - 油菜、春小麦 - 油菜、冬小麦 - 青贮、春小麦 - 青贮、冬小麦 - 水稻、油菜 11 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 0.53 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间,对 0 ~ 30、30 ~ 60、60 ~ 90、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和不同部分的干重,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,在此基础上,针对不同作物种植规模、效益,结合课题组前期对灌区主要种植模式氮磷土壤、作物及退水运移规律的研究基础^[22],运用目标函数线性规划法,分别确定各种种植模式在较高产量、较高经济效益、退水较低氮磷输出条件下灌区高效益低污染科学的种植结构。

1.3 田间肥水管理

每种模式播前施 3 000 kg·667m⁻²腐熟的有机肥做底肥。冬小麦播种前施过磷酸钙 50 kg·667m⁻²,二铵 25 kg·667m⁻²做底肥,10 月 20 日左右追尿素 5 kg·667m⁻²,翌年 3 月 5 日追尿素 10.6 kg·667m⁻²,4 月 20 日追尿素 6.2 kg·667m⁻²,冬小麦出苗后 11 月 20 日灌水一次,灌水量 140 m³·667m⁻²,翌年 4 月 20 日结合追肥灌水 130 m³·667m⁻²,5 月 20

日结合追肥灌水 $130\text{ m}^3\cdot667\text{m}^{-2}$ 。复种的水稻插秧前施二铵 $50\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,7 月 10 日拔节时追施尿素 $10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,8 月底追施尿素(N) $5\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$;春小麦/玉米施过磷酸钙 $40\text{ kg}\cdot667\text{ m}^{-2}$ 做底肥,春小麦苗期追施尿素 $10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,灌水一次,拔节期追施尿素 $5\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,灌水一次,玉米苗期追施尿素 $10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,灌水一次,大喇叭口期追施尿素 $15\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$ 。灌水一次;复种西红柿每 667 m^2 施尿素 10 kg ,过磷酸钙 20 kg 做底肥,西红柿开花坐果期追施尿素 $10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$ 。玉米 4 月 20 日播种,套种大豆 4 月 20 日播种,10 月中旬收获,冬小麦复种各模式在 7 月 5 日播种,10 月中旬收获;复种的蔬菜主要以果菜西红柿为主,4 月中旬移栽前施过磷酸钙 $50\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$,二铵 $25\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$ 做底肥,7 月中旬采果初期追施尿素 $10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$ 。

1.4 测试指标及方法

测试指标包括土壤及退水中全氮、全磷、速效氮、速效磷含量;土壤有机质、全盐含量;作物茎秆、籽粒和叶中全氮和全磷量及不同部分的干重、作物干物质积累和作物产量。

全氮采用开氏定氮法测定;速效氮采用碱解蒸馏法测定;全磷采用氢氧化钠熔融—钼锑抗混合试剂比色法测定;速效磷采用钼锑钨显色法测定;土壤

有机质采用重铬酸钾氧化—油浴加热法测定。

1.5 数据分析

数据运用目标函数线性规划法^[23],采用 DPS 软件处理。

2 结果与分析

2.1 宁夏自流灌区主要种植模式效益分析

由表 1 不同种植模式效益分析得出如下结论:宁夏灌区现有的种植模式经济效益以单作水稻及冬小麦—水稻分别较对照小麦/玉米高出 36.8% 和 28.2%,单作西红柿由于所用劳动力较多,其经济效益基本与对照相当;其它各模式经济效益均低于对照。

2.2 宁夏自流灌区主要种植模式氮磷流失量分析

不同种植模式在大田常规管理水平下,由于作物吸收的氮磷总量、施肥总量不同,所以收获后土壤中氮磷残留总量和氮磷流失总量也不同,从表 2 可看出,各种植模式氮流失量以冬(春)小麦—青贮、冬(春)小麦—蔬菜、单作玉米、油葵在适量施肥条件下较对照小麦/玉米低,分别比对照低 56.8%、50%、36.4% 和 36.4%;磷流失量以冬(春)小麦—青贮、蔬菜、冬(春)小麦—油葵明显降低,分别比对照低 50%、42% 和 35.7%。

表 1 不同种植模式下的产量和经济效益
Table 1 Yield and economic benefits from different cultivation patterns

模式 Cropping patterns	粮食产量 /(t·hm ⁻²) Grain crops yields	饲料产量 /(t·hm ⁻²) Forage crops yields	经济作物产量 /(t·hm ⁻²) Economic crops yields	纯经济效益 /(万元·hm ⁻²) Economic benefits /(10 ⁴ yuan·hm ⁻²)
玉米 Maize	9.00	0.00	0.00	0.57
水稻 Rice	10.50	0.00	0.00	1.60
蔬菜 Vegetable	0.00	0.00	22.50	1.17
油葵 Oil sunflower	0.00	0.00	3.00	0.65
冬小麦—蔬菜 Winter—vegetable	6.80	0.00	15.00	0.78
春小麦—青贮 Spring wheat—silage	7.50	45.00	0.00	0.82
冬小麦—青贮 Winter wheat—sillage	6.80	45.00	0.00	0.70
冬小麦—水稻 Winter wheat—rice	11.30	0.00	0.00	1.50
春小麦—油葵 Spring—oil sunflower	7.50	0	2.25	0.86
冬小麦—油葵 Winter wheat—oil sunflower	6.80	0.00	2.25	0.74
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	7.50	0.00	9.00	1.18

冬(春)小麦—青贮、冬小麦—蔬菜模式降低土壤中氮磷效果明显,这是由于冬小麦复种作物相对单作,后茬增加了一季作物,相对提高了对土壤氮磷吸收量,降低了氮磷流失,单作油葵和玉米的氮磷流失量较少,说明油葵和玉米两种作物能降低土壤中

氮磷残留量。

根据不同种植模式下的氮磷流失量,可计算出 2014 年宁夏自流灌区农田污染的总氮流失量达 34 317 t,磷的流失量高达 408 t。根据宁夏统计年鉴查阅的资料和相应的计算得出 2010 年宁夏自流灌

区肥料污染、畜禽养殖污染和生活污水污染可知氮磷负荷分别为 19 374.4 t 和 867.1 t,其中施用化肥产生的氮磷负荷量最高,分别为 8 618.2 t 和 322.7 t,畜禽养殖排放的氮磷输出量为 7 699 t 和 320.4 t,生活污水的氮磷排放量为 3 057.2 t 和 224 t。相比较根据实验得出的农田面源污染的氮磷流失量较少,由此可知,宁夏农田面源污染氮磷流失量不可低估。

表 2 不同种植模式下 0~120 cm 土层氮磷输出和输入/(kg·hm⁻²)
Table 2 Output and input of nitrogen and phosphorus in 0~120 cm soil layer

种植模式 Cropping pattern	施氮磷量 Amount of nitrogen and phosphorus applied		作物吸收 Crop uptake		收获后土壤中 Amount of nitrogen and phosphorus after harvested		氮磷流失量 Amount of nitrogen and phosphorus loss	
	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus
玉米 Corn	360.0	120.0	203.6	13	2628.6	2365.3	56.7	1.1
水稻 Rice	231.0	120.0	98.7	13.9	2572.8	2358.4	112.5	1.0
蔬菜 Vegetable	225.0	120.0	127.3	13.2	2548.3	2315.9	70.2	0.8
油葵 Oil sunflower	214.5	90.0	113.8	14.3	2498.5	2268.4	56.7	1.1
冬小麦-蔬菜 Winter-vegetable	225.0	120.0	127.3	16.8	2496.1	2345.6	45	1.0
冬(春)小麦-青贮 Winter(spring)wheat-sillage	214.5	120.0	146.3	19.6	2506.8	2290.2	38.5	0.7
冬(春)小麦-油葵 Winter(spring)wheat-oil sunflower	204.0	120.0	115.4	17.5	2522.2	2340.5	92.1	0.9
冬小麦-水稻 Winter wheat-rice	339	135.0	251.8	21.8	2489.8	2276.4	76.5	1.0
春小麦/玉米 Spring wheat/maize	225.0	210.0	134.9	34.0	2480.1	2374.0	89.2	1.4

2.3 宁夏自流灌区种植业结构优化分析

以农田低污染为前提,发展经济高效的种植业结构为目标,进行线性规划,分为三个方案,方案一:经济效益最大,氮磷流失量最小的多目标线性规划(分层评价法);方案二:氮磷流失量分别减少 10%和 5%,经济效益最大的单目标线性规划(单纯形法);方案三:氮磷流失量分别减少 15%和 5%,经济效益最大的单目标线性规划(单纯形法)。分别用 DPS 软件进行线性规划分析,其方法参见文献[21]。

2.3.1 低污染种植结构优化结果 根据定位试验的结果对各作物种植面积、氮磷流失量以及农业产值确定目标函数,利用多目标线性规划的分层评价法进行分析,求解了农业产值最高时和氮磷流失量最小时的种植面积及最优种植结构。由于农业面源污染中的最重要的部分是氮磷污染,因此根据氮和磷的权重分析,氮与磷权值各取 0.50。

方案一:

由表 3 知,在现有的种植面积下,经济效益最大为 40.6 亿元,氮磷流失量分别为 26 096.6 t 和 413.7 t,几种种植模式的总播种面积为 38 万 hm²,单作蔬菜的面积为 7 万 hm²,春小麦/玉米的面积为 3.8 万

hm²,单作玉米的面积为 13.5 万 hm²,冬小麦-蔬菜、冬(春)小麦-青贮和冬(春)小麦-油葵的面积优化为 0,冬小麦-水稻的面积优化为 2 万 hm²,单作油葵的面积为 5 万 hm²。

方案二:

由表 4 知,在氮减少 10%、磷减少 5%后的氮磷流失量为 30 885.2 t 和 388.2 t,经济效益最大为 38 亿元,总播种面积为 34.2 万 hm²,冬小麦-蔬菜的面积优化为 1.5 万 hm²,单作蔬菜的面积为 5.5 万 hm²,春小麦/玉米的面积为 3.8 万 hm²,单作玉米的面积为 13.5 万 hm²,冬(春)小麦-青贮的面积为 1.09 万 hm²,冬小麦-水稻和冬(春)小麦-油葵的面积优化为 0,单作油葵的面积优化为 2.1 万 hm²。

方案三:

由表 5 知,在氮减少 15%、磷减少 5%后的氮磷流失量为 29 169.4 t 和 388.2 t,经济效益最大为 39.3 亿元,几种作物的总种植面积为 36.1 万 hm²,冬小麦-蔬菜的面积优化为 1.5 万 hm²,单作蔬菜的面积为 5.5 万 hm²,春小麦/玉米的面积为 3.8 万 hm²,单作玉米的面积为 13.5 万 hm²,冬(春)小麦-青贮的面积为 1.09 万 hm²,冬小麦-水稻和冬(春)

小麦 – 油菜的面积优化为 0,单作油菜的面积优化为 4 万 hm²。

表 3 经济效益最高氮磷流失量最小优化结果/10 ⁴ hm ²								
Table 3 Optimization results with highest benefits and lowest losses of nitrogen and phosphorus								
冬小麦 – 蔬菜 Winter – vegetable	蔬菜 Vegetable	春小麦/玉米 Spring wheat /maize	水稻 Rice	玉米 Corn	冬(春)小麦 – 青贮 Winter(spring) wheat – silage	冬小麦 – 水稻 Winter wheat – rice	冬(春)小麦 – 油菜 Winter(spring) wheat – oil sunflower	油菜 Oil sunflower
0	7	3.8	6.7	13.5	0	2	0	5
条件 Limiting conditions					经济效益最大 Highest benefits/亿元		40.6	
					氮流失量最小 Lowest nitrogen loss/t		26096.6	
					磷流失量最小 Lowest phosphorus loss/t		413.7	

表 4 氮减少 10%、磷减少 5%的优化结果/10 ⁴ hm ²								
Table 4 Optimization results with amount of nitrogen loss reduced 10% and amount phosphorus loss reduced 5%								
冬小麦 – 蔬菜 Winter – vegetable	蔬菜 Vegetable	春小麦/玉米 Spring wheat /maize	水稻 Rice	玉米 Corn	冬(春)小麦 – 青贮 Winter(spring) wheat – silage	冬小麦 – 水稻 Winter wheat – rice	冬(春)小麦 – 油菜 Winter(spring) wheat – oil sunflower	油菜 Oil sunflower
1.5	5.5	3.8	6.7	13.5	1.09	0	0	2.1
条件 Limiting conditions					经济效益最大 Highest benefits/亿元		38	
					氮流失量减少 10% Lowest nitrogen loss/t		30885.2	
					磷流失量减少 5% Lowest phosphorus loss/t		388.2	

表 5 氮减少 15%、磷减少 5%的优化结果/10 ⁴ hm ²								
Table 5 Optimization results with amount of nitrogen loss reduced by 15% and amount of phosphorus loss reduced by 5%								
冬小麦 – 蔬菜 Winter – vegetable	蔬菜 Vegetable	春小麦/玉米 Spring wheat /maize	水稻 Rice	玉米 Corn	冬(春)小麦 – 青贮 Winter(spring) wheat – silage	冬小麦 – 水稻 Winter wheat – rice	冬(春)小麦 – 油菜 Winter(spring) wheat – oil sunflower	油菜 Oil sunflower
1.5	5.5	3.8	6.7	13.5	1.09	0	0	4
条件 Limiting conditions					经济效益最大 Highest benefits/亿元		39.3	
					氮流失量减少 15% Lowest nitrogen loss/t		26169.4	
					磷流失量减少 5% Lowest phosphorus loss/t		388.2	

2.3.2 低污染种植结构优化结果评价

方案一:在经济效益最大氮磷流失量最小的条件下进行优化后的结果为(表 3):优化后的氮总流失量相比较之前的氮总流失量降低了 25%,优化后的磷素总流失量相比较之前的磷素总流失量增加了 1.2%。经济效益为 40.6 亿元,相比较之前的经济效益增加了 5.6 亿元。冬小麦 – 蔬菜的面积为 0,单作蔬菜的面积为 7 万 hm²,总蔬菜的种植面积保持稳定,规划的结果显示单作蔬菜和设施蔬菜的面积会逐渐取代复种蔬菜,可能是由于冬小麦—蔬菜生产效益虽高,但是该种植方式费工又费时,成本偏高,因此,优化后的面积为 0,但从氮磷流失量角度考虑,冬小麦 – 蔬菜对减少氮磷流失量效果较好,应提倡种植复种蔬菜,因此此优化不合理。玉米的播

种面积呈逐渐增大趋势,如果不做上限,玉米的播种面积还会增加,其中春小麦/玉米种植面积为 3.8 万 hm²,原因有两方面,一方面是由于该方式灌水量较高而播种面积被限制,但另一方面该方式可提供小麦的粮食产量以满足粮食的需求,从而保持着一定的播种面积。而由于人口的不断增长和畜牧业发展需要,而且玉米需要的灌溉水量较少,还可提供较高的粮食产量,随着粮食需求量的增大,单作玉米的播种面积不断上升,弥补了春小麦/玉米播种面积下降引起的粮食不足,增加幅度较大,优化后的单作玉米的种植面积仅 13.5 万 hm²,若不做上限还会减少蔬菜的播种面积继续增加玉米的面积。油菜由于较为节水、投入少,且经济效益相对较高,冬(春)小麦 – 油菜的面积被优化为 0,单作油菜的面积为 5 万

hm²,油葵的总种植面积为 5 万 hm²。冬(春)小麦 – 青贮的面积被优化为 0,而冬小麦 – 水稻的面积被优化为 2 万 hm²,可能是由于冬小麦 – 水稻的经济效益较高,还能很好地控制氮磷流失量。

方案二:在氮磷流失量分别控制在减少 10% 和 5%,其优化后的结果(表 4)可看出,相比较没有控制氮磷流失量时优化后的面积较为合理,但经济效益较少,仅比现在的经济效益增加了 3 亿元,作物的总播种面积也减少到 34.2 万 hm²,相比方案一优化后的面积少了 3.8 万 hm²,在播种面积最小的情况下,可以保证经济效益的提高,但是在可控制氮磷流失量的条件下经济效益增加较少也可以理解,而且不会影响农民的收入,玉米的种植面积与方案一致,冬小麦 – 蔬菜的种植面积被优化为 1.5 万 hm²,单作蔬菜的面积为 5.5 万 hm²,总的蔬菜面积保持稳定,在保证人均蔬菜占有量的同时,又可以适当减少氮磷流失量,冬(春)小麦 – 青贮的播种面积被优化为 1.09 万 hm²,为了保障畜牧业发展的需求,冬(春)小麦 – 青贮应保持一定的种植面积,冬(春)小麦 – 油葵的面积同样被优化为 0,单作油葵的面积也有所减少,优化为 2.1 万 hm²,冬小麦 – 水稻的面积被优化为 0,虽然净收益较高,但复种水稻费工费时,成本较高,且种植过程较为复杂,目前引黄灌区此种种植方式几乎没有。

方案三:在氮流失量减少 15% 磷流失量减少 5% 的方案中,经济效益为 39.3 亿元,作物的总播种面积被优化为 36.1 万 hm²,相比方案二经济效益和播种面积均有所增加,单作玉米的面积被优化为 13.5 万 hm²,与原来的播种面积一致,由此可看出随着氮磷流失量的减少,冬(春)小麦 – 油葵的种植面积和玉米的种植面积与方案一和方案二一致,而单作油葵的面积较方案二增加了 2 万 hm²,优化为 4 万 hm²,这说明随着氮磷流失量的降低,油葵的面积是上升的,但并不影响宁夏引黄灌区的种植业结构,因为全区的食用油大多数由山区提供,影响不大。

从优化结果和分析评价可以得出结论,方案三的优化结果更为合理,因为氮的流失量减少 15% 是目前可以达到的范围,通过合理的优化结构,在未来的几年时间中,可以将氮磷的流失量分别减少 15% 和 5%,而且为了保证宁夏引黄灌区种植业的可持续发展,水稻的播种面积稳定在 6.7 万 hm²,逐步增加单作玉米的播种面积,稳定春小麦/玉米的播种面积,适应于水资源农业结构调整,水稻面积会逐渐减少,而且冬小麦 – 水稻耗工量大,其播种面积优化为 0,适当增加油葵的播种面积,稳定蔬菜的面积,以提

高蔬菜的品质和增加经济效益为主,同时维持一定的冬小麦 – 蔬菜的种植面积,可降低氮磷流失量,同时保证一定的冬小麦 – 青贮的面积,以解决畜牧业所需饲草。减少氮磷污染的同时,作物的经济效益逐渐提高,改善了农民的生活水平。因此,改善作物的种植模式对控制农业面源污染有很大的作用。

总之,在稳粮、增经、增饲,发展高效清洁现代农业的发展思路下,科学的种植业结构能在较大程度上实现高效益、化肥低污染,优化后的种植业结构结合灌区经济发展对种植业的要求,灌区的种植业结构总体上适当增加旱作玉米播种面积,维持水稻面积,适量减少小麦面积,在优化后各作物面积种植条件下,发展以旱作为主,高效益,低氮磷流失的小麦、玉米间混套作模式及高经济效益作物。

3 结 论

1) 宁夏自流灌区主要种植模式的经济效益以单作水稻及冬小麦 – 水稻较高,分别较对照小麦/玉米高出 36.8% 和 28.2%。

2) 各种种植模式氮流失量以冬(春)小麦 – 青贮、冬(春)小麦 – 蔬菜、单作玉米、油葵在适量施肥条件下分别比对照低 56.8%、50%、36.4% 和 36.4%;磷流失量以冬(春小麦) – 青贮、蔬菜、冬(春)小麦 – 油葵降低较明显,分别比对照低 50%、42% 和 35.7%。

3) 优化的种植业结构播种面积为春小麦/玉米 3.8 万 hm²、蔬菜 5.5 万 hm²、玉米 13.5 万 hm²、水稻 6.7 万 hm²、冬小麦 – 青贮 1.09 万 hm²、油葵 4 万 hm²,在其播种面积条件下,结合灌区现有的种植条件与技术,进行作物间合理组配,可以在保证经济产量效益条件下较大幅度降低氮磷流失量。

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,侯向阳,等.中国西部生态农业发展方略[M].北京:气象出版社,2004.

[4] 章力建,蔡典雄,王小彬,等.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,许 强,康建宏,等.宁夏引黄灌区 6 种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):31-34.

[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):4-7.

