

滇池流域化肥施用及化肥减量增效技术应用效果调查研究

谭海燕¹, 罗聪², 任建青¹, 梁志妹¹, 董琼娥¹

(1. 昆明市农业科学院资源环境研究所, 云南昆明 650118; 2. 昆明市晋宁区农业技术推广中心, 云南昆明 650600)

摘要 [目的]验证有机肥替代、水肥一体化、新型肥料应用等化肥减量增效技术在滇池流域的减肥效果,为推广化肥减量增效技术、实施农业面源污染治理提供科学数据。[方法]结合滇池流域农业种植结构,对1 564户农户开展肥料施用情况调查,并对多年来不同作物、不同耕作制度和种植方式下36组化肥减量增效田间试验进行分析研究。[结果]滇池流域农户施肥较多的为蔬菜,总体平均施肥量为851 kg/hm²,最少的为粮食作物,平均值为237 kg/hm²,选择适当的化肥减量增效技术可以降低推荐施肥量的10%~20%,并达到稳产增产及提升耕地质量的效果。[结论]化肥减量增效技术应考虑耕作制度、栽培模式、土壤供肥能力等,因地制宜,分区施策。同时,应不断提升农业技术水平,实现增效和水环境保护兼顾的目的。

关键词 滇池流域;农户施肥调查;化肥减量增效技术

中图分类号 S147 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)15-0132-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.15.035

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Chemical Fertilizer Application and Effect of Technology of Fertilizer Reduction and Efficiency Improvement in Dianchi Lake Basin

TAN Hai-yan¹, LUO Cong², REN Jian-qing¹ et al (1. Resources and Environment Research Institute, Kunming Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650118; 2. Jinning District Agricultural Technology Promotion Center, Kunming, Yunnan 650600)

Abstract [Objective] The aim was to verify the effect of fertilizer reduction and efficiency technologies such as organic fertilizer substitution, water and fertilizer integration, and new fertilizer application in Dianchi Lake Basin, and to provide scientific data for popularizing chemical fertilizer reduction and efficiency improvement technologies and implementing agricultural non-point source pollution control. [Method] Combined with the agricultural planting structure in Dianchi Lake Basin, the fertilizer application of 1 564 farmers was investigated, and 36 groups of field experiments of fertilizer reduction and efficiency improvement under different crops, different farming systems and planting methods were analyzed and studied. [Result] Farmers in Dianchi Lake Basin applied more fertilization to vegetables, with an overall average fertilization rate of 851 kg/hm², and the least amount of fertilization for grain crops, with an average value of 237 kg/hm². Selecting appropriate fertilizer reduction and efficiency enhancement technologies can reduce the recommended amount of fertilizer by more than 10%~20%, and achieve the effect of stabilizing and increasing yield and improving the quality of cultivated land. [Conclusion] The technology of reducing the amount and increasing the efficiency of chemical fertilizers should consider the farming system, cultivation mode, soil nutrient supply capacity, etc. At the same time, the level of agricultural technology should be continuously improved to achieve both efficiency enhancement and water environmental protection.

Key words Dianchi Lake Basin; Farmer fertilization investigation; Technology of chemical fertilizer reduction and efficiency improvement

滇池流域位于云贵高原中部昆明市西南,属长江流域金沙江水系,流域面积2 920 km²,涉及五华区、盘龙区、西山区、官渡区、呈贡区、晋宁区。由于具有优越的气候、区位条件,滇池流域从20世纪80年代开始率先在全省将传统农业转变为高强度的集约农业和设施农业,导致化肥施用量不断增长,因过量施肥和灌溉而引起的土壤结构破坏、酸化、养分不平衡、次生盐渍化等问题也日益突出,成为目前农业面源污染治理、水环境保护的重点治理区域。十二五以来,滇池流域通过实施测土配方施肥、水肥一体化、土壤有机质提升、新型肥料应用推广等技术,在化肥合理施用、农业面源污染治理及耕地质量保护上取得了明显的成效。笔者结合滇池流域农业种植结构、农户肥料施用情况及滇池流域耕地土壤养分含量情况,对多年来不同作物、不同耕作制度和种植方式下化肥减量增效试验结果进行分析研究,验证多年来各项技术在减肥增效和农业面源污染治理等方面的应用成果,为滇池流域推广化肥减量增效技术、开展农业面源污染治理及耕地土壤质量保护工作提供数据支撑。

1 方法

1.1 农户施肥调查 根据滇池流域当前农作物种植和生产情况,按照重点区域、典型代表的原则,对2020—2021年滇池流域1 564户农户主要农作物开展化肥施用品种和数量等情况调查,并用数理统计的方式进行分析研究,摸清当前滇池流域农户施肥情况及存在的问题,为提出科学的施肥技术和减肥措施提供依据。

1.2 化肥减量增效技术研究 在测土配方施肥工作形成的技术成果基础上,结合滇池流域各区域农业生产水平、耕地土壤供肥能力、土壤障碍因素及面源污染治理需求,应用新型肥料包括水溶肥、叶面肥、缓控释肥、微生物肥料、生物有机肥及水肥一体化、有机肥替代等技术进行化肥减量增效试验,通过对36组不同作物及不同栽培制度和模式的化肥减量增效试验进行分析,比较化肥减量增效模式与常规配方施肥模式在减少化肥施用量、提高作物产量和品质、改善耕地质量等方面的差异,验证化肥减量增效技术的应用效果及在滇池流域化肥减量增效工作中的作用。

2 结果与分析

2.1 滇池流域农业种植结构及化肥施用现状 由于都市农业的发展,滇池流域以粮食作物为主的传统种植结构被蔬菜、花卉等取代。统计资料显示,2019年滇池流域农作物总

播种面积为 62 297.6 hm²,其中粮食作物占 35.1%,主要以玉米和小麦为主。经济作物中,蔬菜瓜果占比 52.5%,烤烟面积占 4.2%。花卉常年播种面积保持在 3 000 hm² 以上,占 5%左右,平均施肥强度每季 604.5 kg/hm²。

从 1 564 户农户施肥情况调查来看(表 1),滇池流域平均施肥量较少的作物为粮食作物,平均值为 237 kg/hm²,其中,水稻和豆类施用量较少,分别为 134 和 182 kg/hm²,玉米施肥量相对较高(440 kg/hm²)。

蔬菜是施肥量较大的作物,总体平均施肥量为

851 kg/hm²,因为种类较多,施肥量大小不一,其中施肥较多的有韭菜、荷兰豆和草莓,年施肥量分别为 1 340、1 133、1 049 kg/hm²。由于各类蔬菜的生育期长短不一,在蔬菜连作、复种指数较大地区,年均施肥量远远超过粮食作物和其他经济作物。

花卉的施肥量也因种类而有所区别,康乃馨石竹类施肥量为 465 kg/hm²。切花月季采收一茬的施肥量平均为 426 kg/hm²,一年的施肥量达到 1 000 kg/hm² 以上。

表 1 2020—2021 年滇池流域农户化肥施用调查

Table 1 Investigation on chemical fertilizer application of farmers in Dianchi Lake Basin from 2020 to 2021

作物种类 Crop type		调查样本数 Number of survey samples 户	氮肥 Nitrogen fertilizer input//kg/hm ²			磷肥 Phosphate fertilizer input//kg/hm ²			钾肥 Potash fertilizer input//kg/hm ²			总施肥量 Total fertilizer application kg/hm ²
			平均值 Average value	标准差 Standard deviation	CV	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	CV	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	CV	
玉米	Core	696	317	221	0.7	84	87	1.0	39	65	1.7	440
水稻	Rice	11	72	54	0.8	62	48	0.8	0	0		134
小麦	Wheat	46	107	30	0.3	81	14	0.2	8	30	4.0	195
豆类	Pulse crops	17	57	47	0.8	71	32	0.4	54	15	0.3	182
烤烟	Tobacco	52	111	63	0.6	180	116	0.6	258	150	0.6	549
蔬菜 Vegetable crop	白菜、甘蓝 Chinese cabbage and cabbage	231	275	168	0.6	129	126	1.0	138	116	0.8	542
	其他叶菜 Other leafy vegetables	34	302	183	0.6	222	146	0.7	260	161	0.6	783
	花菜类 Flower vegetables	60	300	114	0.4	185	107	0.6	138	140	1.0	623
	瓜类 Cucurbit crop	26	305	281	0.9	162	165	1.0	116	128	1.1	583
	荷兰豆 Snow pea	9	347	134	0.4	315	56	0.2	471	188	0.4	1 133
	韭菜 Chinese chives	29	726	417	0.6	404	278	0.7	210	117	0.6	1 340
	葱蒜 香菜 Scallion, garlic and coriander	49	329	132	0.4	201	129	0.6	230	146	0.6	759
	草莓 Strawberry	59	305	251	0.8	470	326	0.7	275	173	0.6	1 049
花卉 Flower	切花月季(一茬) Cut rose (one crop)	230	107	89	0.8	164	66	0.4	155	65	0.4	426
	康乃馨石竹 Carnation and dianthus	15	120	39	0.3	165	60	0.4	180	69	0.4	465

2.2 滇池流域化肥减量增效技术应用研究

2.2.1 有机肥替代化肥技术应用效果。针对流域内耕地土壤有机质含量和土壤供肥能力情况,结合不同作物施肥现状及需肥特点,通过增施不同数量的有机肥,应用有机肥部分替代化肥模式实施化肥减量增效,各组试验结果见表 2。

由表 2 可看出,在不同作物、不同种植模式下,在增施有机肥、适当减少化肥施用量的情况下,可以达到稳产和增产的目的。从作物综合性状上看,长势和商品性都较不施有机肥的处理有所提高。

从减肥幅度上看,增施有机肥的量越大,减少化肥施用的幅度也相应增加,在设施农业发达、施肥强度大、耕地土壤养分含量较丰富、土壤供肥能力强的地区,通过增加有机肥施用量,不仅可减少化肥 40%~50%,而且增加产量,提升品质,实现优质高产。在露地生产中,结合不同地区有机肥供应量和经济水平,适当增施有机肥,减少化肥施用量 10%~20%,可以达到化肥减量和提高商品质量的目的。

2.2.2 微生物肥料及生物有机肥技术应用效果。针对流域

内蔬菜和花卉连作区域长期存在耕地质量退化、作物病害加重、施肥效应不明显问题,应用微生物肥料和生物有机肥模式实施化肥减量增效,各组试验结果如下。

从表 3 可看出,选择适宜的微生物肥料及生物有机肥,在不同作物上均可达到化肥减量但不减产的效果,一般情况下减少化肥使用量 10%~20%,作物不会造成减产,且作物综合性状均有所改良。而在土壤养分含量较高、连作障碍突出、发生次生盐化的设施栽培区域,施肥不是增产的重要因素,减肥幅度可以适当增加,通过施用微生物肥料或生物有机肥,不仅达到减少化肥施用、提高作物品质的效果,还能达到改良连作障碍和次生盐化的目的。

2.2.3 其他新型肥料的应用效果。结合各地种植方式和种植制度采用新型肥料配合相应施肥技术,减少推荐配方施肥量,各地不同试验结果如下(表 4)。

从表 4 可看出,应用新型肥料包括缓控释肥、水溶肥(结合水肥一体化技术)、腐殖酸叶面肥、纳米肥料叶面喷施等,在减少化肥使用量 10%~20%的情况下,作物不会造成减产。

表 2 有机肥部分替代化肥试验结果

Table 2 Results of partial replacement of chemical fertilizer with organic fertilizer

作物种类 Crop type	试验地点 Test location	土壤类型 Soil type	耕作制度 Farming systems	推荐施肥量及产量 Recommended fertilizer amount and yield/kg/hm ²					有机肥替代模式下施肥量 Fertilizing amount on replace model/kg/hm ²		减肥幅度 Fertilizer reducing rate	减肥模式下产量增幅 Yield increase under fertilizer reducing mode	备注 Remark
				氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potash fertilizer	总施肥量 Total fertilizer application	产量 Yeild	增施有机肥量 Increase the amount of organic fertilizer	化肥用量 Fertilizer amount			
鲜食玉米 Fresh corn	盘龙区阿子营	大红土	露地玉米,冬闲	378	108	90	576	20 130	7 500	458~558	3.1%~21.0%	1.9%~4.8%	产量差异不明显
	玉米	嵩明牛栏江镇	红鸡粪土,露地蚕豆、玉米,轮作	354	30	42	426	9 675	3 000	387	氮、磷减 10%	7.50%	产量差异不明显
瓢菜 Pakchoi	嵩明牛栏江镇	红鸡粪土	露地蚕豆、玉米,轮作	354	30	42	426	9 675	3 000	387	氮、磷减 20%	-3.90%	产量差异不明显
	晋宁晋城	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	153	153	153	459	62 685	12 000	412.5	10%	-6.76%	产量差异不明显,植株叶色浓绿,商品性好
	晋宁晋城	胶泥田	大棚蔬菜,连作	180	123	237	540	49 170	15 000	324	40%	11.60%	产量差异显著
	晋宁晋城	胶泥田	大棚蔬菜,连作	180	123	237	540	49 170	22 500	270	50%	19.60%	产量差异显著
	晋宁晋城	胶泥田	大棚蔬菜,连作	213	87	184.5	484.5	52 785	15 000	291	40%	8.30%	产量差异显著
茼蒿 Parsley	晋宁晋城	胶泥田	大棚蔬菜,连作	160.5	105	238.5	505.5	58 575	15 000	303	40%	11.80%	长势强,叶色浓绿,商品性状好,无病害
	晋宁晋城	胶泥田	大棚蔬菜,连作	351	147	547.5	1 046	20 805	15 000~30 000	522~627	40%~50%	12.6%~18.8%	产量差异显著
	荷兰豆 Snow pea	晋宁晋城	大红土,露地,荷兰豆冬闲	296	296	296	886	11 910	15 000	532	40%	5.30%	产量差异不显著
	马铃薯 Potato	嵩明杨林	红鸡粪土,露地蔬菜、马铃薯,轮作	151.5	105	120	378	63 345	3 000	339	10%	0.50%	产量差异不明显
	嵩明杨林	红鸡粪土	露地蔬菜、马铃薯,轮作	151.5	105	120	378	63 345	3 000	264~303	20%~30%	-1.8%~8.2%	产量差异不显著

表 3 应用生物有机肥及微生物肥料试验结果

Table 3 Experiment results on application of bio-organic fertilizer and microbial fertilizer

作物种类 Crop type	试验地点 Test location	土壤类型 Soil type	耕作制度 Farming systems	推荐施肥量及产量 Recommended fertilizer amount and yield/kg/hm ²					减肥措施 Measures to reduce chemical fertilizer amount	减肥模式下施肥量 Fertilizing amount under fertilizer reducing mode/kg/hm ²	减肥幅度 Fertilizer reducing rate	减肥模式下产量增幅 Yield increase under fertilizer reducing mode	备注 Remark
				氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potash fertilizer	总施肥量 Total fertilizer application	产量 Yeild					
白菜 Chinese cabbage	西山区	红砂泥土	露地蔬菜,轮作	294	51	126	471	61 560	生物有机肥	424	10%	-6%	产量差异不显著
	嵩明嵩阳镇	红鸡粪土	大棚蔬菜,连作	165	75	150	390	75 285	微生物肥料	273~351	10%~30%	1.1%~5.53%	产量差异不显著
	呈贡龙城	鸡粪土	大棚蔬菜,连作	208	120	112	440	70 695	生物有机肥加微生物肥料	352~396	10%~20%	7.21%~17.97%	差异极显著
	呈贡龙城	鸡粪土	大棚蔬菜,连作	208	120	112	440	70 695	生物有机肥	352~396	10%~20%	9.7%~29%	差异极显著
瓢菜 Pak-choi	晋宁晋城	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	180	180	180	540	63 345	微生物肥料	432~486	10%~20%	3.8%	产量差异不显著
	晋宁晋城	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	154	154	154	462	68 280	生物有机肥	278~370	20%~40%	0.6%~7.2%	差异不明显,株高、茎粗、叶展增加
	晋宁晋城	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	180	180	180	540	65 910	生物有机肥	324~432	20%~40%	0.9%~4.6%	株高、茎基宽、单株重明显增加

接下表

续表 3														
作物种类 Crop type	试验地点 Test location	土壤类型 Soil type	耕作制度 Farming systems	推荐施肥量及产量 Recommended fertilizer amount and yield/kg/hm ²					减肥措施 Measures to reduce chemical fertilizer amount	减肥模式下施肥量 Fertilizing amount under fertilizer reducing mode kg/hm ²	减肥幅度 Fertilizer reducing rate	减肥模式下产量增幅 Yield increase under fertilizer reducing mode	备注 Remark	
				氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potash fertilizer	总施肥量 Total fertilizer application	产量 Yeild						
芹菜 Celery	晋宁晋城	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	345	297	345	987	95 325	微生物菌剂	494	50%	两种菌剂分别增产 6.7%和 9.9%	株高、茎粗、单株重明显增加	
生菜 Romaine lettuce	寻甸仁德	青砂泥田	大棚蔬菜连作	374	102	206	682	64 290	复合生物菌酶制剂	544~614	10%~20%	-0.9%~-0.7%	产量差异不显著	
	嵩明牛栏江	鸡粪土田	大棚蔬菜,连作	60	62	60	182	39 600	生物有机肥	164	10%	2.1%~13.35%	株高、茎基粗,叶球直径、单株重增加	
	嵩明小街	泥田	大棚蔬菜,连作	72	72	72	216	47 895	复合微生物菌剂灌根和叶喷	195	10%	活性和灭茵增产 6.9%~13.6 %	株高、茎基粗,叶球直径、单株重增加	
	嵩明嵩阳	河砂田	大棚蔬菜,连作	120	75	120	315	39 810	复合微生物菌剂	296	氮、磷减 10%	-2.7%	产量差异不显著	
	嵩明嵩阳	河砂田	大棚蔬菜,连作	120	75	120	315	39 810	复合微生物菌剂	276	氮、磷减 20%	-14.7%	产量差异极显著	
油麦菜 Lettuce	嵩明杨林	浮泥田	大棚蔬菜,连作	330	135	75	540	52 635	微生物菌剂	447~494	氮、磷、钾减 10%~20%	-2.8%和 0.7%	产量差异不显著	
切花月季 Cut rose	晋宁宝峰	浮泥田	大棚花卉,连作	36	76	105	217	280 305	生物有机肥	153~174	20%~30%	5.7%~7.1%	A、B 级花比例分别提高 6.9%~11.0%	

表 4 施用新型肥料减肥试验结果														
Table 4 Experiment results of fertilizer reduction with new fertilizer														
作物种类 Crop type	减肥措施 Measures to reduce chemical fertilizer amount	试验地点 Test location	土壤类型 Soil type	耕作制度 Farming systems	推荐施肥量及产量 Recommended fertilizer amount and yield/kg/hm ²					减肥模式下施肥量 Fertilizing amount under fertilizer reducing mode kg/hm ²	减肥幅度 Fertilizer reducing rate	减肥模式下产量增幅 Yield increase under fertilizer reducing mode	备注 Remark	
					氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potash fertilizer	总施肥量 Total fertilizer application	产量 Yeild					
油麦菜 Lettuce	水溶肥采用喷灌	嵩明杨林镇官庄村	泥田	大棚蔬菜,连作	240	106	208	554	49 710	444~500	10%~20%	-0.56%~-0.2%	产量差异不显著	
白菜 Chinese cabbage	水溶肥兑水浇施	西山区团结镇赵家村	红土	露地蔬菜,连作	294	51	126	471	61 560	117~354	25%~75%	17%~21%	产量差异显著	
	叶面喷施纳米肥料	西山区团结镇赵家村	红土	露地蔬菜,连作	134	51	51	236	53 445	195	减氮 30%	13.40%	产量差异显著	
叶用芥菜 Leaf mustard	叶面喷施腐殖酸肥	晋宁区晋城三槐村	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	154	154	154	462	55 260	279	40%	16.90%	产量、株高、茎粗、单株重明显增加	
	叶面喷施纳米肥料	晋宁区晋城三槐村	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	154	154	154	462	55 260	279~372	20%~40%	13.9%~16.8%	产量、株高、茎粗、单株重明显增加	
上海青 Pakchoi	施用缓控释肥	晋宁区晋城团山村	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	154	154	154	462	68 280	372	20%	1.3%	产量、株高、茎粗、叶展均明显增加	
	施用缓控释肥	晋宁区晋城团山村	紫胶泥田	大棚蔬菜、花卉,连作	154	154	154	462	62 685	372	10%~20%	-8.3%~-2.9%	产量差异不显著	
	施用缓控释肥	晋宁区晋城镇小海村	紫胶泥田	大棚蔬菜,连作	180	180	180	540	65 910	450	17%	2.1%	株高、茎基宽、单株重均明显增加	
玉米 Corn	施用缓控释肥	牛栏江镇下马坊村	油砂土	露地蚕豆玉米轮作	354	30	42	426	9 660	341~383	10%~20%	-4%~-1.3%	产量差异不显著	

其中,在叶菜类蔬菜叶用芥菜上采用叶面喷施腐殖酸肥料和纳米肥料时,减肥效果可达 20%~40%,株高、茎粗、单株重有

明显增加,从叶面喷施腐殖酸肥料和纳米肥料对土壤电导率等性质影响的结果来看,减 40%肥料处理收获后土壤电导率

分别为 312~351 (US/cm) 较推荐施肥电导率 430 (US/cm) 减少 18%~27%, 可见, 结合土壤肥力水平和作物需肥特点, 采用适当的减肥技术不仅可以达到明显的减肥增产效果, 还可减少土壤次生盐化的风险, 改良因过量施肥造成的土壤质量退化。

3 讨论

3.1 治理农业面源污染 农业面源污染已经成为当前我国地表水体污染的主要来源, 针对农业面源污染治理, 杨林章等^[1-3]提出 4R 理论, 指出源头减量(包括优化管理水分和养分、提高肥料利用效率、减少化肥投入)是减少农业面源污染的首要环节。滇池水污染是我国高原湖泊富营养化治理的难点, “十二五”以来, 农业面源污染占入湖污染的 30% 以上, 其中, 养分的过量投入和利用率低, 直接导致农田中氮、磷的过度排放^[4]。钟雄等^[5]研究显示, 滇池流域不同作物、不同土壤类型产生的径流和测渗氮、磷流失不同。黄维恒等^[6-7]提出, 不同土地利用方式下土壤无机态磷含量及组分的分布有所差别; 彭珮媛等^[8]指出, 山地富磷农地是磷面源污染防治重点。在污染的时间分布上, 桂萌等^[9]提出, 滇池流域大棚种植区农田污染的排放集中在 6—9 月, 占全年的 90% 以上, 与气候条件和灌溉方式有关。在设施栽培中, 长期施肥下土壤氮、磷的时空变化和流失风险表现出差异^[10]。可见, 农业面源污染形成因素复杂, 受各地土壤、气候、土地利用方式、农业生产管理等影响各异, 在治理农业面源污染时也应突出重点, 分区施策, 因地制宜提出适宜的面源污染治理方法。

3.2 实施化肥减量增效技术 这是解决当前过量施肥、减少农业面源污染、提升耕地质量的主要技术措施。2015 年以来, 全国各地开展化肥零增长活动, 通过测土配方、水肥一体、有机肥替代、地力提升等技术实现化肥减量增效^[11-16], 浙江省在化肥减量增效工作中提出了构建化肥定额实施的政策、技术、工作、保障体系的建议^[17]。从各地应用化肥减量增效技术的模式上和应用效果看, 受土壤供肥水平、耕作制度、栽培模式等影响, 选择的化肥减量增效技术和应用效果均有不同。如米国华等^[18]在玉米上应用新型肥料和滴灌技术等节省氮、磷化肥; 尼雪妹等^[19]在水稻上构建了化肥减施增效技术评价指标体系; 黄绍文等^[20]基于 5R 管理下的水肥一体化技术在设施蔬菜上减肥 30% 以上等。滇池流域受垂直气候、土壤和地理位置多样性变化影响, 农业种植结构和种植模式复杂, 不同区域出现的问题不一, 必须结合生产上出现的实际问题采用相应的减肥技术, 并通过试验或相应手段验证, 才能实施减肥推广, 否则易造成减产。

3.3 化肥的安全和高效使用 这是当前农业环境保护的重点工作, 也是农业实现优质可持续发展的基础。刘钦普^[21]对中国化肥面源污染环境风险进行评估认为, 近 25 年来, 全国化肥使用环境安全阈值在 200~300 kg/hm² 之间变化, 氮、

磷、钾化肥风险指数平均分别为 0.54、0.53、0.49, 提出随着作物产量增加和化肥利用效率提高, 化肥使用环境安全阈值也相应增加。王奇等^[22]认为, 在现有技术下, 保证粮食安全的施肥量最少为 346.6 kg/hm², 提出 2020 年我国粮食作物安全和农业生态环境在现有技术下无法兼得, 提高农业技术水平和农作物化肥利用率形势极其紧迫。从当前滇池流域农业种植结构和化肥施用量调查结果看, 其平均化肥用量均超过国家环境安全阈值。因此, 为达到保护农业生态和水环境、兼顾农业生产效益的目的, 应不断探索新技术, 提高肥料利用效率和作物产量, 使滇池流域农业生产能够实现绿色、环保、生态的长足发展。

参考文献

- [1] 杨林章, 冯彦房, 施卫明, 等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 96-101.
- [2] 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践: 总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(1): 1-8.
- [3] 杨林章, 吴永红. 农业面源污染防治与水环境保护[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 168-176.
- [4] 滇池流域农田和山地地面源污染防治关键技术体系及应用[J]. 云南科技管理, 2021, 34(4): 80-81.
- [5] 钟雄, 张丽, 张乃明, 等. 滇池流域坡耕地土壤氮磷流失效应[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 42-47.
- [6] 黄维恒, 熊荟菁, 邓洪, 等. 滇池南岸典型区域不同土地利用方式下土壤无机态磷的分布[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(6): 689-692.
- [7] 刘惠见, 邓洪, 黄维恒, 等. 滇池流域不同利用方式下红壤磷素渗漏环境风险评价[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 54-60.
- [8] 彭珮媛, 吴晓妮, 李子光, 等. 滇池流域源头区不同土地利用方式土壤无机磷组分的分布特征[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 58-64.
- [9] 桂萌, 祝万鹏, 余刚, 等. 滇池流域大棚种植区面源污染释放规律[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 1-5.
- [10] 石宁, 李彦, 井永苹, 等. 长期施肥对设施菜田土壤氮、磷时空变化及流失风险的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2434-2442.
- [11] 付浩然, 李婷玉, 曹寒冰, 等. 我国化肥减量增效的驱动因素探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 561-580.
- [12] 黄铁平, 吴远帆, 何宝生, 等. 湖南省农作物化肥使用量零增长行动策略: 基于矿质营养与有机营养并重使用的分析[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(5): 885-891.
- [13] 唐汉, 王金武, 徐常塑, 等. 化肥减施增效关键技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(4): 1-19.
- [14] 王金林, 武广云, 刘友林, 等. 云南省化肥施用现状及减量增效的途径研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(3): 26-36.
- [15] 薛利红, 何世颖, 段婧婧, 等. 基于养分回用-化肥替代的农业面源污染氮负荷削减策略及技术[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1226-1231.
- [16] 刘方明, 孙云云, 高玉山, 等. 玉米化肥减施增效技术应用效果研究综述[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 9-11.
- [17] 虞轶俊, 陈红金, 陆若辉, 等. 浙江省化肥定额制实施路径与对策研究[J]. 中国农技推广, 2019, 35(11): 3-6.
- [18] 米国华, 伍大利, 陈延玲, 等. 东北玉米化肥减施增效技术途径探讨[J]. 中国农业科学, 2018, 51(14): 2758-2770.
- [19] 尼雪妹, 罗良国, 李宁辉, 等. 水稻作物化肥减施增效技术评价指标体系构建[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(4): 301-310.
- [20] 黄绍文, 唐继伟, 张怀志, 等. 设施蔬菜生产全程精准施肥解决方案的制订与实施[J]. 中国蔬菜, 2017(7): 5-8.
- [21] 刘钦普. 中国化肥面源污染环境风险时空变化[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1247-1253.
- [22] 王奇, 詹贤达, 王会. 我国粮食安全与水环境安全之间的关系初探: 基于粮食产量与化肥施用的定量关系[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(1): 81-86.