

海伦市典型小流域坡耕地侵蚀沟特征和治理研究

张冠名, 肖洋*, 周雪山 (黑龙江大学农业资源与环境学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

摘要 在2011~2012年,野外详查了海伦市典型小流域坡耕地侵蚀沟的现状,对当前坡耕地侵蚀沟特征和治理措施进行了研究。结果表明,小流域多年平均侵蚀模数为 $1\ 769\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$,沟壑密度为 $6.5\ \text{km}/\text{km}^2$,沟蚀的强度属于极强烈。应用聚类分析法,可将侵蚀沟分为浅沟、切沟、冲沟3类和小型沟、中型沟、大型沟3个级别以及7.91、17.14、33.46 m 3个等级的年平均发育进度。根据侵蚀沟的不同级别,对侵蚀沟的沟头、沟岸、沟坡和沟底采取相应的配套生物措施、工程措施和农业措施进行治理。

关键词 小流域;坡耕地;侵蚀沟;聚类分析

中图分类号 S157 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)02-00411-03

Research on Cure and Characteristic of Gully on Sloping Farmland in Small Typical Watersheds of Hailun City

ZHANG Guan-ming et al (College of Agriculture Resources and Environment, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080)

Abstract From 2011 to 2012, cure methods and characteristics of gully of sloping farmland were observed and studied by field investigation on gully of sloping farmland in small typical watershed of Hailun City. The results showed that erosion modulus and gully density of small watershed reached $1\ 769\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ and $6.5\ \text{km}/\text{km}^2$, gully intensity belonged to the severe degree. By hierarchical cluster analysis, gully could be classified to ephemeral gully, permanent gully, gulch erosion and the large-scale gully, the medium gully, the small gully, and the rates of development could be also classified to three degrees of 7.91 meters, 17.14 meters and 33.46 meters. According to the different levels of gully, the cure method of gully head, gully bank, gully slope and gully bottom matched with the corresponding biological measures, engineering measures and agricultural measures.

Key words Small watershed; Slope land; Erosion gully; Cluster analysis

海伦市是世界三大黑土带之一,也是我国重要的商品粮基地,素有“粮仓”之称。西部平原盛产大豆、玉米、水稻等粮食作物和亚麻、烤烟等经济作物,地下蕴藏丰富的煤炭、矿金、矿泉水等矿产资源。根据第2次土壤普查资料统计,海伦市土地总面积为 $4.55 \times 10^5\ \text{hm}^2$,其中黑土是主要的耕作土壤,占总耕地面积的81.53%^[1]。由于长期的不合理耕作,水土流失已成为制约当地农业、经济和生态可持续发展的主要因素之一。相关统计表明,海伦市水土流失面积为 $1.65 \times 10^5\ \text{hm}^2$,占总面积的35%^[2]。其中,水蚀面积为 $1.23 \times 10^5\ \text{hm}^2$,占水土流失面积的74.8%。全市年平均土壤侵蚀模数为 $4\ 467\ \text{t}/\text{km}^2$,轻度侵蚀面积为 $10.13 \times 10^4\ \text{hm}^2$,中度侵蚀面积为 $4.53 \times 10^4\ \text{hm}^2$,重度侵蚀面积为 $1.81 \times 10^4\ \text{hm}^2$,分别占水土流失面积的61.5%、27.5%和11.0%。长期水土流失形成的较大侵蚀沟有4 706条,总长416 km,侵蚀区沟壑密度为 $0.63\ \text{km}/\text{km}^2$ 。坡耕地侵蚀沟的迅速发育导致坡耕地严重的水土流失和土地退化,影响作为重要的商品粮基地的粮食安全。为了有效防治坡耕地水土流失,以海伦市前进镇的光荣小流域为例,笔者对坡耕地侵蚀沟的发展状况开展系统的调查,分析侵蚀沟主要发育特征和发生发展的规律,并提出相对应的坡耕地侵蚀沟的治理措施,为合理的土地利用和坡耕地水土流失的防治提供基础数据和科学依据。这对于区域农业可持续发展具有重要的意义。

1 材料与方

1.1 研究区概况 海伦市位于黑龙江省中部,地处小兴安岭南麓,地理坐标为 $46^\circ 58' \sim 47^\circ 52' \text{N}$, $126^\circ 14' \sim 127^\circ 45' \text{E}$,是

由小兴安岭向松嫩平原的过渡地带,处在松嫩平原的中北部。地势从东北到西南由低丘陵、高平原、河阶地、河漫滩依次呈阶梯形逐渐降低,最高为490 m,最低约150 m。海伦市属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季温热多雨,雨热同期,年平均降雨量为500~600 mm,60%~70%集中在6~8月,年平均气温为 $1.5\ ^\circ\text{C}$ 左右,冬季平均气温约在 $-20.0\ ^\circ\text{C}$,极端气温 $-39.0\ ^\circ\text{C}$ 。夏季平均气温在 $19.0 \sim 20.0\ ^\circ\text{C}$ 之间,年有效积温为 $2\ 300 \sim 2\ 600\ ^\circ\text{C}$,年日照时数 $2\ 600 \sim 2\ 800\ \text{h}$,无霜期一般为110~125 d。地貌类型为半丘陵地区。土壤类型主要为黑土、草甸土、白浆土、暗棕壤^[3]。

1.2 研究方法 典型侵蚀沟现状调查的主要指标包括:侵蚀沟长度、上口最大宽度、上口平均宽度、沟底平均宽度、侵蚀沟平均深度、沟道纵比降(主沟道流程高差与主沟道流程长度之比)、侵蚀沟类型(发展型、稳定型)以及已有治理措施和数量等^[4]。

利用1:10 000地形图,在小流域内随机抽取39条沟道进行系统的实地调查和图上量测。实地调查包括对流域界限和沟缘线的勾绘、沟道及沟头的治理与利用情况调查等。通过选择有代表性的地段,在沟道的上、中、下游分别设置量测断面。用皮尺或测绳测定每个量测断面上各沟谷的深度、宽度,计算出各量测断面上所有沟谷的平均冲刷深度和宽度以及两断面间沟谷的纵向曲线长度,从而计算出调查区的侵蚀总体积和土壤侵蚀量。土壤侵蚀总体积的计算公式^[5]为:

$$V_{\text{总}} = \sum (d_i \times h_i) \times L$$

式中, $V_{\text{总}}$ 为沟谷侵蚀总体积(m^3); d_i 和 h_i 分别为第 i 个断面上沟谷的总宽度(m)和总深度(m); L 为等距布设断面时的沟谷纵向长度(m)。

图上量测包括对每条沟道的沟壑面积、汇水面积、沟道长度(主沟长、各级支沟长和沟道全长)、沟壑密度等特征值

基金项目 黑龙江大学创新实验室项目。

作者简介 张冠名(1989-),男,黑龙江绥化人,硕士研究生,研究方向:农业生态。*通讯作者,讲师,博士,从事水土保持方面的研究。

收稿日期 2013-12-11

的测算。

2 结果与分析

2.1 沟蚀强度分级特征 根据表1计算求得的多年平均侵蚀模数为 $1\ 769\ t/(km^2 \cdot 年)$,平均流失厚度为 $1.45\ mm/年$,沟壑密度为 $6.5\ km/km^2$ 。参照水利部颁布的土壤水力侵蚀

的强度分级标准^[6],光荣小流域的水力侵蚀强度为轻度侵蚀,沟蚀的强度分级为极强烈。由此可知,当前小流域的沟蚀状况相当严重。研究区野外调查也表明,流域内沟壑密布,蚕食耕地,冲蚀肥沃黑土。沟蚀已成为限制当地农业可持续发展的主要因素。

表1 侵蚀沟调查数据

代号	长度 m	宽度 m	深度 m	占地面积 m ²	侵蚀总量 t	年侵蚀量 t	沟道前进 速度//m/年	汇水面积 km ²	年均降 水量//mm	年均径 流深//mm	沟底纵坡 化降//%
1	37	2.28	0.78	84.36	40.14	4.01	3.70	0.013	530	87.5	8.17
2	76	1.82	0.66	138.32	55.69	5.57	7.60	0.025	530	87.5	9.83
3	102	2.11	0.92	215.22	120.78	7.55	6.38	0.035	530	87.5	8.67
4	125	0.82	0.52	102.50	32.51	2.71	10.42	0.015	530	87.5	5.83
5	1 032	3.25	0.83	3 354.00	1 698.13	48.52	29.49	0.020	530	87.5	5.67
6	189	3.82	1.39	721.98	612.17	19.75	6.10	0.020	530	87.5	5.17
7	172	1.10	0.43	189.20	49.63	2.36	8.19	0.012	530	87.5	6.78
8	109	1.80	0.60	1 96.20	71.81	4.79	7.27	0.015	530	87.5	7.89
9	379	4.95	0.97	1 876.05	1 110.06	29.60	10.11	0.020	530	87.5	5.87
10	176	8.05	1.46	1 416.8	1 261.80	60.09	8.38	0.030	530	87.5	4.19
11	212	2.85	1.40	604.2	515.99	41.28	16.96	0.040	530	87.5	9.05
12	160	0.70	0.20	112.00	13.66	1.05	12.31	0.013	530	87.5	6.76
13	182	18.50	1.46	3 367.00	2 998.65	142.79	8.67	0.070	530	87.5	7.68
14	453	10.10	1.86	4 575.30	5 191.14	173.04	15.10	0.080	530	87.5	5.42
15	202	11.00	1.63	2 416.00	2 209.33	88.37	8.08	0.050	530	87.5	6.12
16	112	9.40	1.40	1 052.80	899.09	52.89	6.59	0.020	530	87.5	6.77
17	89	10.05	1.30	894.45	709.30	50.66	6.36	0.010	530	87.5	7.23
18	147	7.45	0.86	1 095.15	574.52	35.91	9.19	0.075	530	87.5	7.67
19	150	6.65	1.13	997.50	687.58	32.74	7.14	0.035	530	87.5	8.12
20	300	5.35	0.83	1 605.00	812.61	81.26	30.00	0.061	530	87.5	5.05
21	1 186	1.75	0.83	2 075.50	1 050.83	36.24	40.90	0.020	530	87.5	7.78
22	65	3.80	1.66	247.00	250.11	19.24	5.00	0.012	530	87.5	8.76
23	145	4.10	1.48	594.50	536.71	29.82	8.06	0.045	530	87.5	8.52
24	239	5.95	1.70	1 422.05	1 474.67	52.67	8.54	0.041	530	87.5	7.16
25	523	7.50	2.01	3 922.50	4 809.38	133.59	14.53	0.060	530	87.5	4.38
26	610	8.60	2.20	5 246.00	7 040.13	195.56	16.94	0.080	530	87.5	4.86
27	600	8.65	2.50	5190.00	7 914.75	219.85	16.67	0.090	530	87.5	4.74
28	671	9.80	2.30	6 575.80	9 225.85	256.27	18.64	0.060	530	87.5	4.25
29	1 034	13.45	1.76	13 907.3	14 930.88	311.06	21.54	0.096	530	87.5	4.22
30	169	4.75	1.30	802.75	636.58	31.83	8.45	0.040	530	87.5	7.65
31	180	5.35	1.30	963.00	763.66	34.71	8.18	0.040	530	87.5	7.15
32	174	5.40	1.16	939.60	664.86	34.99	9.16	0.040	530	87.5	7.83
33	207	5.95	1.65	1 231.65	1 239.66	47.68	7.96	0.050	530	87.5	6.87
34	87	1.80	0.53	156.60	50.63	4.60	7.91	0.016	530	87.5	9.66
35	95	1.90	0.70	180.50	77.07	6.42	7.92	0.017	530	87.5	9.42
36	112	2.60	0.40	291.20	71.05	5.47	8.62	0.019	530	87.5	9.63
37	160	3.00	1.30	480.00	380.64	23.79	10.00	0.035	530	87.5	8.12
38	136	1.65	0.30	224.40	41.07	2.93	9.71	0.017	530	87.5	9.42
39	992	14.10	2.37	13 987.20	20 221.30	439.59	21.57	0.130	530	87.5	3.65

2.2 侵蚀沟分类分级特征 国内外相关的研究表明,按照沟谷规模的大小,可以将侵蚀沟分为细沟、浅沟、切沟、冲沟、坳沟或槽沟^[7-10]。参照相关的研究,并选取侵蚀沟的深度和宽度2个指标进行聚类分析。由表2可知,光荣小流域侵蚀沟可分为浅沟、切沟和冲沟3类,以切沟和冲沟为主体。浅沟沟深一般不超过1 m,宽不大于2 m,纵剖面与坡面一致,

处于沟蚀发展的活跃期;切沟沟深一般不超过1.5 m,沟宽一般不大于6 m,纵剖面与坡面也基本一致,沟头开始出现跌水,沟岸开始出现崩塌,也处于沟蚀发展的活跃期;冲沟沟深一般不超过3 m,沟宽一般不大于20 m,多为一个主沟几个分沟的复杂形态出现,沟头有明显的跌水,沟岸扩张以崩塌为主,此阶段侵蚀仍处在发展期。

表 2 光荣小流域侵蚀沟分类

地形类型	形态特征					沟岸扩张方式
	深度//m	宽度//m	坡度	横剖面形态	纵剖面特征	
浅沟	0.5~1.0	1~2	陡直	V形	与坡面一致形态特征	不明显
切沟	1.0~1.5	2~6	陡直	V形	与坡面基本一致,沟头开始出现跌水	崩塌不明显
冲沟	1.5~3.0	6~20	直立	U形	沟头出现明显的跌水	崩塌为主

借鉴相关的研究^[11],选取年侵蚀量、沟壑占地面积和沟长这3个指标进行聚类分析。由表3可知,光荣小流域侵蚀沟可分为小型沟、中型沟和大型沟3个级,每个级又划分为稳定沟、半稳定沟和发展沟三等。小型侵蚀沟一般规模较小,侵蚀量也相对较小,处在发展活跃的阶段,占地面积小于0.2 hm²,沟长不超过200 m;中型沟规模较大,侵蚀量也相对较大,也处在发展活跃的阶段,占地面积0.2~0.5 hm²,沟长在200~500 m之间;大型沟规模大,侵蚀量也大,仍处于发展的阶段,占地面积在0.5 hm²以上,沟长大于500 m。

表 3 光荣小流域侵蚀沟分级结果

类别	级等	年侵蚀量	沟壑占地	沟长
		t	面积//hm ²	m
小型沟	稳定沟	<10	<0.2	200
	半稳定沟	10~60		
	发展沟	>60		
中型沟	稳定沟	<30	0.2~0.5	200~500
	半稳定沟	30~90		
	发展沟	>90		
大型沟	稳定沟	<50	>0.5	>500
	半稳定沟	50~300		
	发展沟	>300		

2.3 侵蚀沟发育特征 由表4可知,整个流域侵蚀沟的发育速度是不平衡的,聚类分析将侵蚀沟的发育速度分为3个等级。5、20、21号侵蚀沟发育速度快,年平均发育进度为33.46 m,处在发育的第1级别;29、39、11、26、27、28、14、25、12、17和14号侵蚀沟的发育速度居第2级别,年平均发育进度为17.14 m;其他号侵蚀沟发育慢,年平均发育进度为7.91 m,居第3级别。据表1,坡耕地上的侵蚀沟宽度和长度之比平均为0.019,相比其他类型的侵蚀沟^[12]有较大的宽长比。

表 5 不同级别侵蚀沟治理措施

级等	生物措施	工程措施	农业措施
小型沟	沟头、沟岸、沟坡和沟底营造灌木	沟底回填秸秆等	深耕、轮作和套种
中型沟	沟头、沟岸和沟坡灌木	沟头和沟岸修筑土袋封沟埂;削坡放缓沟坡坡度;沟底修筑编织袋谷坊、编柳谷坊、土柳谷坊	深耕、轮作和套种
大型沟	沟头、沟坡和沟岸营造灌木	沟头修筑土袋封沟埂或柳树跌水台阶;沟岸修筑土袋封沟埂;削坡放缓沟坡坡度;沟底修筑干砌石谷坊或浆砌石谷坊	深耕、轮作和套种

3 结论和讨论

3.1 结论 通过2011、2012年调查数据,对海伦市前进镇光荣小流域的坡耕地侵蚀沟特征和治理措施进行研究。结果表明,当前光荣小流域的水力侵蚀强度为轻度侵蚀,沟蚀的强度分级为极强烈,小流域的沟蚀状况相当严重,必须采取相应的措施进行治理。通过对侵蚀沟的深度和宽度进行聚

类分析表明,光荣小流域侵蚀沟可分为浅沟、切沟和冲沟3类,以切沟和冲沟为主体。对年侵蚀量、沟壑占地面积和沟长进行聚类分析,可将侵蚀沟分为小型沟、中型沟和大型沟3个级别。侵蚀沟有较大的宽长比,且发育速度很不平衡。小型侵蚀沟应用较简单的配套措施即可治理,中型侵蚀沟应采

表 4 侵蚀沟发育进度

类别	年平均发育进度//m	侵蚀沟编号
I	7.91	34、35、33、7、31、15、23、10、30、13、36、24、8、19、2、3、17、16、6、18、32、9、37、38、4、1、22
II	17.14	29、39、11、26、27、28、14、25、12、17、14
III	33.46	5、20、21

2.4 侵蚀沟治理措施 由表5可知,根据侵蚀沟的不同分级而采取相应的生物、工程和农业措施。小型侵蚀沟规模较小,侵蚀量也较小。应用较简单的配套措施就能够治理,即可在沟头、沟岸两侧、沟坡坡面和沟道底部营造不同密度的水土保持灌木林带,同时结合在沟底营造的灌木林带将秸秆等材料回填沟底,以促进拦截泥沙;在农业生产上,可以采取深耕、轮作和套种等水土保持耕作制度,增加坡耕地土壤的抗蚀性和地表的覆盖度,进而减少汇入沟道的地表径流量。中型侵蚀沟规模较大,侵蚀量也较大,应采取生物措施和工程措施并重的方法进行治理,即在沟头、沟岸两侧、沟坡坡面营造水土保持灌木林带,同时在沟头和沟岸两侧水土保持灌木林带的外缘修筑土袋封沟埂,拦截汇水径流;削坡减缓沟坡坡度,并在沟底修筑编织袋、编柳和土柳等简易谷坊。大型侵蚀沟规模大,侵蚀量也大,应采取生物措施和工程措施相结合以工程措施为主的方法进行治理,即在沟头、沟岸两侧、沟坡坡面营造水土保持灌木林带,同时根据汇水量在沟头修筑土袋封沟埂或柳树跌水台阶,沟岸两侧结合营造的水土保持灌木林带修筑土袋封沟埂;削坡,并在沟底修筑干砌石或浆砌石谷坊,以控制沟床下切。

(下转第416页)

2.3 玉米最高产量施肥量和最佳经济施肥量 根据肥料效应方程的分析,确定氮、磷、钾最佳施肥量、产量。根据3年的玉米“3414”试验(表5),在产量水平 $<9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推荐量为 126 kg/hm^2 , P_2O_5 肥的推荐量为 57 kg/hm^2 , K_2O 肥的推荐量为 30 kg/hm^2 ,最佳经济产量为 $7\ 855.5\text{ kg/hm}^2$;在产量水平 $9\ 000\sim 11\ 250\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推

荐量为 $141\sim 237\text{ kg/hm}^2$, P_2O_5 肥的推荐量为 $33\sim 84\text{ kg/hm}^2$, K_2O 肥的推荐量为 $15\sim 120\text{ kg/hm}^2$,最佳经济产量为 $10\ 105.5\sim 12\ 081\text{ kg/hm}^2$;在产量水平 $>11\ 250\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推荐量为 $127.5\sim 270.0\text{ kg/hm}^2$, P_2O_5 肥的推荐量为 $70.5\sim 99.0\text{ kg/hm}^2$, K_2O 肥的推荐量为 $22.5\sim 76.5\text{ kg/hm}^2$,最佳经济产量范围为 $11\ 896.5\sim 18\ 288\text{ kg/hm}^2$ 。

表5 2008~2010年玉米“3414”试验不同产量水平的最高产量施肥量和最佳经济施肥量

年份	产量水平 kg/hm ²	最高产量施肥量			最高产量 kg/hm ²	最佳经济施肥量			最佳产量 kg/hm ²
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2008	600~750	11.4	3.8	6.7	804.6	9.4	5.6	8.0	805.4
	>750	18.0	7.4	6.0	1 232.2	18.0	6.6	5.1	1 219.2
2009	600~750	18.0	2.0	5.0	714.7	15.8	4.6	4.7	706.7
	>750	10.4	6.3	2.0	803.8	8.5	5.7	1.9	799.5
2010	<600	4.7	2.3	0.9	515.2	8.4	3.8	2.0	523.7
	600~750	16.1	8.7	2.7	697.8	10.4	2.2	1.0	673.7
	>750	10.4	5.9	1.6	796.8	9.3	4.7	1.5	793.1

注:肥料和玉米的价格根据当地市场价格确定,N为5.2元/kg, P_2O_5 为6.3元/kg, K_2O 为9.2元/kg,玉米价格为1.8元/kg。

3 结论与讨论

在陕西省长武县布置田间试验,利用“3414”试验原理,探讨不同氮、磷、钾肥用量对玉米生长、产量的影响。通过对不同年度不同试验点玉米产量进行统计分析,把长武县玉米产量分为 $<9\ 000$ 、 $9\ 000\sim 11\ 250$ 、 $>11\ 250\text{ kg/hm}^2$ 3个水平。

根据3年的玉米“3414”试验,发现在产量水平 $<9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推荐量为 126 kg/hm^2 , P_2O_5 的推荐量为 57 kg/hm^2 , K_2O 的推荐量为 30 kg/hm^2 ,最佳经济产量为 $7\ 855.5\text{ kg/hm}^2$;在产量水平为 $9\ 000\sim 11\ 250\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推荐量为 $141\sim 237\text{ kg/hm}^2$, P_2O_5 肥的推荐量为 $33\sim 84\text{ kg/hm}^2$, K_2O 肥的推荐量为 $15\sim 120\text{ kg/hm}^2$,最佳经济产量为 $10\ 105.5\sim 12\ 081\text{ kg/hm}^2$;在产量水平 $>11\ 250\text{ kg/hm}^2$ 的地块,N肥的推荐量为 $127.5\sim 270.0\text{ kg/hm}^2$, P_2O_5 肥的推荐量为 $70.5\sim 99.0\text{ kg/hm}^2$, K_2O 肥的推荐量为 $22.5\sim 76.5\text{ kg/hm}^2$,最佳经济产量范围为 $11\ 896.5\sim 18\ 288\text{ kg/hm}^2$ 。

合理配施氮、磷、钾肥既可提高玉米产量,又可增加经济效益。平衡施肥可最大限度地发挥营养元素的作用。此时,玉米地上部生长旺盛,根系活力最强,光合同化率最高,光合产物转运快,积累量大,使得玉米高产、稳产。因此,测土配方施肥是玉米高产优质的关键,也是促使资源有效利用的必然选择。

参考文献

(上接第413页)

取生物措施和工程措施并重的方法进行治理,大型侵蚀沟应采取生物措施和工程措施相结合且以工程措施为主的方法进行治理。

3.2 讨论 该研究只考虑了侵蚀沟长度、宽度、深度、占地面积等影响因子,而如何将降水(降雨和降雪)、土壤(土壤剖面入渗和土壤可蚀性等特征)以及冻融作用等因子加入研究中,讨论其对于侵蚀沟发育和形成过程的影响是非常重要的。

坡耕地侵蚀沟的形成过程与坡耕地垄沟较长、单一的耕作措施有关。因此,如何从根本上切断侵蚀沟形成的条件是非常关键的。今后,改变单一的耕作制度,增加垄作区田和植物篱等防护林带以截短坡长,减少汇流面积,从而遏制侵蚀沟的形成和发育。

参考文献

[1] 谢叶伟,赵军,李勇,等.基于GIS的典型黑土区海伦市耕地地力评价研

- [1] 王晓光.玉米的栽培技术[M].沈阳:东北大学出版社,2010:56-62.
- [2] 高祥照,马常宝,杜森.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2005:128-131.
- [3] 黄昌勇.土壤学[M].3版.北京:中国农业出版社,2010:232-234.
- [4] 叶金宝,张洪程,魏海燕.不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J].作物学报,2005,31(11):1422-1428.
- [5] 吴建祥,施南芳.长期不同施肥对水稻养肥吸收和肥料利用率的影响[J].湖北农业科学,2002(4):54-55.
- [6] 王祝余,孙国跃,冯平龙,等.响水县油泥土地区小麦“3414”肥料试验研究[J].现代农业科技,2007(24):123-124.
- [7] 王兴仁,陈新平,张福锁,等.施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):67-74.
- [8] 王琦,崔玉明,白凤玲,等.黑土地区防治水土流失的对策研究[J].黑龙江水专学报,2002,29(2):82-84.
- [9] 赵军,葛翠萍,孟凯,等.海伦市土地利用与土壤侵蚀时空变化分析[J].水土保持通报,2007,27(2):67-71.
- [10] 李世泉,王岩松.东北黑土区水土保持监测技术[M].北京:中国水利水电出版社,2008:17-18.
- [11] 雷廷武,李法虎.水土保持学[M].北京:中国农业大学出版社,2012:90-91.
- [12] 中华人民共和国水利部.中华人民共和国水利行业标准——土壤侵蚀分类分级标准[M].北京:中国水利水电出版社,2008:8-9.
- [13] PATTON P C, SCHUMM S A. Gully erosion, Northwestern Colorado: A threshold phenomenon[J]. Geology, 1975, 3: 88-90.
- [14] 严钦尚,曾昭璇.地貌学[M].北京:高等教育出版社,1985:100-101.
- [15] 杨华.山西吉县黄土区切沟分类的研究[J].北京林业大学学报,2001,23(1):38-43.
- [16] 范昊明,王铁良,蔡强国,等.东北黑土漫岗区侵蚀沟发展模式研究[J].水土保持研究,2007,14(6):328-334.
- [17] 石长金,温室,何金全.侵蚀沟系统分类与综合开发治理模式研究[J].农业系统科学与综合研究,1995,11(3):193-197.
- [18] 孟令钦,李勇.东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J].水土保持学报,2009,23(1):7-11.