



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.02.004

赵堃, 苏保林, 管毓堂, 等. 不同降雨水平年条件下旱作玉米面源污染试验[J]. 2016, 14(2): 15-20.

ZHAO Kun, SU Bao lin, GUAN Yu tang, et al. Non point source pollution of corn field under different rainfall levels[J]. 2016, 14(2): 15-20. (in Chinese)

不同降雨水平年条件下旱作玉米面源污染试验

赵堃¹, 苏保林¹, 管毓堂¹, 周静雯¹, 黄宁波², 申萌萌³

(1. 北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875; 2. 陕西黄河生态工程有限公司, 西安 710000;
3. 上海市社会主义学院, 上海 200237)

摘要: 为研究不同降雨水平年旱作玉米农业面源污染流失特征, 选取辽河流域昌图县玉米地试验田进行面源污染试验, 对比分析了其在 2013 年丰水年和 2014 年平水年的面源污染流失规律。结果表明, 对所选试验地点(坡度 0.5%, 种植玉米), 在前期降雨量比较少的条件下, 中雨很难产生径流污染, 但是在前一场次降雨量较大时, 中雨也会导致产流, 形成面源污染流失。2013 年玉米生长季 TN、TP 和 COD_{Cr} 的输出系数分别为 5.46 kg/hm²、0.57 kg/hm²、25.79 kg/hm², 而 2014 年的输出系数分别 3.14 kg/hm²、0.27 kg/hm²、19.62 kg/hm², 较 2013 年都有所增加, 即丰水年产生的面源污染相对平水年较多。

关键词: 降雨水平年; 玉米地; 降雨径流; 次降雨平均浓度(EMCs); 非点源污染

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0015-06

Non point source pollution of corn field under different rainfall levels

ZHAO Kun¹, SU Bao lin¹, GUAN Yu tang¹, ZHOU Jing wen¹, HUANG Ning bo², SHEN Meng meng³

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. The Yellow River Ecological Engineering of Shaanxi Co, LTD, Xian 710000, China; 3. Shanghai Institute of Socialism, Shanghai 200237, China)

Abstract: In order to study non point source pollution of corn field under different rainfall levels, a series of field experiments were carried out in a corn field plot in the Liao River region, and the loss rules of non point source pollution of the corn field land under different rainfall levels between the wet year of 2013 and the normal year of 2014 were analyzed. The results showed that moderate rain events were difficult to form non point source pollution in the experiment plot with a slope of 0.5% when the antecedent rainfall amount was less, but it would form non point source pollution when the antecedent rainfall was large. The export coefficients of TN, TP and COD_{Cr} were 5.46 kg/hm², 0.57 kg/hm², 25.79 kg/hm² in 2013, and in 2014 were 3.14 kg/hm², 0.27 kg/hm² and 19.62 kg/hm², respectively, which were higher than those of 2013.

Key words: different rainfall levels; corn field; rainfall runoff; event mean concentrations (EMCs); non point source pollution

目前, 非点源污染已成为世界范围内地表水与地下水污染的主要来源, 而农业污染是主要的非点源污染来源^[1]。农业生产活动中的氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物, 通过农田径

流形成水环境污染^[2], 而随着化肥的施用量增大, 农田径流污染已经成为最为重要且分布最为广泛的非点源污染^[3]。为了提高对非点源污染的认识, 需要加强对不同降雨水平年条件下农田径流污染的研究

收稿日期: 2015-06-14 修回日期: 2015-07-27 网络出版时间: 2016-04-14
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1450.017.html>
基金项目: 国家“十二五”重大科技项目(2013ZX07501005)

Fund: Major Science & Technology Program for Water Pollution Control & Treatment (2013ZX07501005)

作者简介: 赵堃(1991-), 女, 河北唐山人, 主要从事非点源污染方面研究。E-mail: 438190895@qq.com

通讯作者: 苏保林(1965-), 男, 云南安宁人, 副教授, 博士, 主要从事环境系统分析、非点源污染研究。E-mail: subl@bnu.edu.cn

究。目前对于农田径流污染的研究方法很多,有的为获得同步的径流和污染物流出过程线,需要采取降雨-产流-产污同步观测的野外试验方法^[45],但是这种方法在确定类型源小区时受到下垫面、流域出口等多种条件的限制;有的采用模拟降雨径流试验法^[68],这种方法虽然能够控制降雨强度和时长,但是试验模拟结果与实际情况有一定的差别;有为估算面源污染的削减量,采取野外实地调查与模拟实验相结合的方法^[910],但是这种方法在调查和试验时难度较大。

针对上述研究存在的问题,本文采用径流池试验法进行研究。径流池法是通过在试验田出水口设立具有一定容积的径流池,根据测量降雨过程中由出水口流入径流池内的总径流量和污染物的浓度来估算场次降雨过程中水稻田非点源污染流出负荷和输出系数。该方法对场次降雨径流污染估算结果具有较高的精度,通常适用于具有单一径流出口的试验小区。本文以辽河流域中游地区昌图县旱作玉米地作为研究对象,研究在不同降雨水平年条件下旱作玉米面源污染流失规律,以期定量研究不同降雨情况下面源污染流失提供依据。

1 研究区域概况

综合考虑农作物类型、监测与采样的便捷性等条件,选择昌图县宝力镇宝源村(42°58′25″N, 120°49′30″E)进行玉米地天然降雨径流试验,该试验点位于辽河一级支流招苏台河子流域内。昌图县位于辽宁铁岭市最北部,是全国著名的农业大县和全国重点商品粮基地,盛产玉米、水稻、花生等作物。但是粗放型的农业生产方式对水环境造成了严重的污染,农业面源污染波及整个辽河流域中下游。

研究区辽河位于中国东北地区南部,是中国东北地区南部的最大河流,也是中国七大江河之一。南濒渤海与黄海,西南与内蒙内陆河和河北海滦河流域相邻,北与松花江流域毗连。辽河流域大部分地区属温带半湿润半干旱的季风气候。年降水量约为 350~1000 mm,年径流量为 89 亿 m³,山地多于平原,从东南向西北递减。流域年降水量的 65%集中于每年的 4-9 月。辽河流域年平均气温约在 4℃-9℃间,全年气温 1 月份最低,平均在 -9℃-18℃之间,7 月份温度最高,平均在 21℃-28℃之间。全年气候变化显著,雨量适中,适宜农作物的生长。

2 试验与采样方法

本研究于 2013 年 5 月 10 日至 10 月 9 日和

2014 年 4 月 14 日至 10 月 8 日在昌图县宝力镇宝源村选取具有代表性的玉米地作为试验田,采用径流池法对旱作玉米地径流污染进行观测。

在试验田内安装自记雨量计进行降雨过程监测,自记雨量计安装在试验田内固定的架子上,器口保持水平,器口距离地面高度约为 70 cm。每隔 10 min 记录一次降雨,形成降雨量连续观测资料。

试验区为六个 10 m×5 m 长方形试验小区,在试验田出水口设立径流池,容积为 2 m×1 m×1 m。径流小区坡度约为 0.5%,采用顺坡种植的方式保证径流能够进入径流池。为防止小区之间发生串水及侧漏,径流小区之间用高 20 cm、宽 20 cm 的土埂隔开,田埂中间埋设 SBS 防水卷材,卷材铺设为地下 30 cm,地上 10 cm,在靠近径流池 1 m 范围内的田埂使用砖混结构。径流池壁为双砖水泥墙体,池底由混凝土浇筑,并做好防渗处理。具体的建设设计图参见图 1^[11]。

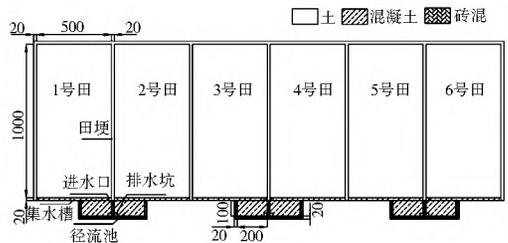


图 1 试验田平面图(单位:cm)

Fig. 1 Experimental field plan

每次降水产生径流后,记录各径流池水面深度,并用清洁工具充分搅匀,采集并分装水样后送回实验室进行分析测试。分析项目包括:总氮、总磷、COD_{Cr}。其中,总氮浓度采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法(A)测定,总磷浓度采用钼锑抗分光光度法(A)测定,COD_{Cr}浓度采用重铬酸钾法(A)测定^[12]。

3 结果对比分析

3.1 降雨及产流特征分析

将玉米生长季内的降雨总量与当地近几年的年降水量进行比较,发现 2013 年属于丰水年,2014 年属于平水年^[13]。不同降雨水平年条件下玉米生长季内试验田降雨特征见表 1。根据 24 h 降雨量对降雨等级进行划分^[14],在 2013 年玉米生长季期间大雨及暴雨主要分布在 7 月和 8 月,所有小雨、中雨均未产流,3 场暴雨全部产流,4 场大雨分别发生在 6 月 16 日、7 月 17 日、7 月 24 日、8 月 28 日,降雨量分别为 48 mm,34.5 mm,29.2 mm,45.2 mm,只有 7 月 17 日和 7 月 24 日的两场出现产流。

表 1 不同水平年条件下试验田降雨特征

Tab. 1 Rainfall conditions in experimental field under different rainfall levels

年份	降雨场次(场)	降雨总量(mm)	暴雨(场)	大雨(场)	中雨(场)	小雨(场)
丰水年	28	568.5	3	4	9	12
平水年	38	320.3	0	3	9	26

在 2014 年玉米生长期共监测到了 5 场降雨农田径流污染, 分别发生在 6 月 18 日、6 月 26 日、7 月 13 日、7 月 21 日和 8 月 12 日。在 5 场产生径流的降雨中, 共有大雨 2 场, 中雨 3 场, 降雨量最小为 13.1 mm, 最高为 36.4 mm, 降雨量相对较少。

根据已经记录的产流时径流池的水面深度, 分别计算 6 块小区的径流量。为便于计算分析, 径流量采用 6 块小区的径流量平均值, 不同降雨水平年

条件下试验田生长季内降雨及产流情况见表 2。对比 2013 年丰水年时玉米地的产流特征^[11], 2014 年玉米地生长季总降雨量相对较少, 部分降雨场次也出现了产流, 但产流量相对较少。其中 2013 年以及 2014 年两场大雨的前一场次降雨量(除暴雨外)都比较小, 使得前期土壤含水量较低, 需要较大的降雨量才能产流。2014 年三场中雨的前一场次降雨量比较大, 前期土壤含水量较高, 不需要较高的降雨量也能产流, 因此中雨也出现了产流。

表 2 不同降雨水平年条件下试验田降雨及产流情况

Tab. 2 Rainfall and runoff conditions in experimental field under different rainfall levels

降雨场次	日期	降雨历时/h	降雨量/mm	平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)	径流深/mm	前期干期天数/d	前一场次降雨量/mm	前一场次降雨历时/h	前一场次平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)
1	2013-07-03	14.3	81.9	5.7	33.4	1	3.1	3.5	0.9
2	2013-07-17	16.8	34.5	2.0	5.8	1	0.6	2.0	0.3
3	2013-07-24	9.7	29.2	3.0	3.6	5	3.5	6.8	0.5
4	2013-08-12	2.0	52.9	26.5	21.3	17	6.1	16.1	0.4
5	2013-08-16	6.1	127.7	20.9	93.2	4	52.9	1.8	29.4
1	2014-06-18	4	36.4	9.1	1.5	1	4.4	1.3	3.4
2	2014-06-26	4.3	14.1	3.3	0.8	7	36.4	15.3	2.6
3	2014-07-13	1.5	13.2	8.8	0.4	4	10.2	1.8	5.7
4	2014-07-21	5.3	32.5	6.1	1.2	4	0.3	0.3	1.0
5	2014-08-12	1	13.1	13.1	1.0	21	32.5	8.0	4.1

2013 年 8 月 16 日比 8 月 12 日的平均降雨强度低, 降雨量是前一场雨的 2.4 倍, 而径流量却为前一场雨的 4.5 倍。通过对比分析, 发现前一场降雨的前期干期天数比较长, 前期土壤含水量较低, 而后一场降雨的前期土壤含水量相对较高, 说明前期干期天数对降雨产流产生明显的影响。2014 年 6 月 26 日和 8 月 12 日的降雨量相差不大, 但是后一场次的平均降雨强度比前一场次大, 说明降雨强度对径流的产生也起到了一定的影响, 可能局部产生了超渗产流的情况。

2013 年产流场次降雨总量为 326.2 mm, 占当年玉米生长季降雨总量的 57%; 2014 年产流场次降雨总量为 109.3 mm, 占当年玉米生长季降雨总量的 34%, 对比以上数据, 可以发现丰水年产流场次的降雨量在玉米生长季降雨总量占的比例较大, 而平水年较小。降雨是径流产生的先决条件, 降雨的

大小、强度往往决定了径流的产生量和大小^[4], 因此根据上述分析可以得出玉米生长季内丰水年的产流量较多。

3.2 降雨径流污染特征

降雨径流中污染物的浓度是随着时间不断变化的, 通常用次降雨平均浓度(EMC)来表示一场降雨所产生径流中的污染物浓度。次降雨平均浓度会受到土地利用、施肥量以及降雨特征因素的影响。对采集的水样进行水质分析, 计算 6 个径流池的径流加权平均浓度, 即得到污染物的次降雨平均浓度, 见表 3。

由表 3 可见, 2013 丰水年 COD_{Cr}、总氮、总磷的最低浓度分别为 10.04 mg/L、1.53 mg/L、0.22 mg/L, 而 2014 平水年 COD_{Cr}、总氮、总磷的最低浓度分别为 16.67 mg/L、4.16 mg/L、0.42 mg/L, 均高于 2013 年的最低浓度。对于 COD_{Cr}, 2014 年的

表 3 不同降雨水平年条件下试验田次降雨平均浓度

日期	COD _{Cr}	TN	TP
2013- 07- 03	10. 04	1. 53	0. 28
2013- 07- 17	38. 35	4. 56	0. 52
2013- 07- 24	23. 14	3. 96	0. 22
20130- 8- 12	27. 00	2. 10	0. 30
2013- 08- 16	12. 14	3. 52	0. 36
2014- 06- 18	22. 17	5. 49	0. 42
2014- 06- 26	31. 89	6. 54	0. 48
2014- 07- 13	16. 67	6. 29	0. 53
2014- 07- 21	27. 33	4. 16	0. 47
2014- 08- 12	96. 05	10. 40	1. 32

变化幅度是 2013 年的 2.8 倍;对于总氮,2014 年的变化幅度是 2013 年的 2.1 倍;对于总磷,2014 年的变化幅度是 2013 年的 3 倍。2014 年 8 月 12 日玉米地径流池中 COD_{Cr}、总氮、总磷的次降雨平均浓度明显高于其他产流场次,分别为 90.65 mg/L、10.40

mg/L 和 1.32 mg/L,这可能是因为最后一场产流的前期干旱天数较长,在土壤中累积的可被冲刷的污染物相对较多,再加上降雨强度较大,导致大量泥沙流失,TN、TP 和 COD_{Cr} 浓度升高。

根据不同降雨水平年的试验结果,对整个玉米生长期实验区的 TN、TP 和 COD_{Cr} 的输出系数进行计算,计算公式为:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{10EMC_i \cdot V_i}{S} \quad (1)$$

式中: E 为污染物的输出系数 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); n 为试验期间有径流产生的降雨场次; EMC_i 为第 i 次降雨事件中的污染物次降雨平均质量浓度 (mg/L); V_i 为 i 次降雨事件径流总量 (m^3); S 为试验田面积 (m^2)。

通过计算,可以得到 2014 年玉米生长季的总氮、总磷和 COD_{Cr} 的输出系数见表 4,可以发现丰水年 TN、TP 和 COD_{Cr} 的输出系数均大于平水年,即丰水年产生的面源污染多于平水年。国内旱地农田非点源输出系数相关研究参见表 4^[7]。通过对比可知,本研究得到的结果在合理的范围内。

表 4 国内旱地农田非点源输出系数

Tab. 4 Domestic dry farmland non-point export coefficients

文献作者	时间	研究区域	作物类型	输出系数/($\text{kg} \cdot \text{hm}^2$)		
				TN	TP	COD _{Cr}
杨翠玲 ^[15] 等	2011	滇池流域	玉米/蔬菜间作	0.79	0.195	2.86
陈颖 ^[16] 等	2011	海河流域	水稻	4.77	2.08	-
席运官 ^[17] 等	2010	太湖流域	茶	11.69	0.128	-
李承力 ^[18] 等	2008	丹江口库区	小麦/玉米轮作	10.0	0.9	-
朱丹丹 ^[19] 等	2007	大庆地区	旱地	16.51	2.72	186.58
李怀恩 ^[20] 等	2003	黑河流域	旱地	29	0.9	-
申萌萌 ^[11] 等	2013	辽河流域	玉米	5.46	0.57	25.79
本研究	2014	辽河流域	玉米	3.14	0.27	19.62

不同降雨水平年条件下玉米地的氮、磷流失量在生长季总流失量所占的比例见表 5。丰水年在暴雨时产生了大量的面源污染,受降雨的类型影响显著,仅 3 场暴雨流失的面源污染负荷就占到了整个生长季的 90% 以上。平水年大雨、中雨玉米产生的面源污染是构成玉米生长季污染流失的主要部分。

表 5 不同降雨水平年玉米地氮、磷流失量

Tab. 5 Loss of nitrogen and phosphorus in corn field under different rainfall levels

年份	降雨类型	TN 流失量所占比例	TP 流失量所占比例
丰水年 (2013)	暴雨(3场)	89%	91%
	大雨(2场)	11%	9%
平水年 (2014)	大雨(2场)	42%	43%
	中雨(3场)	58%	57%

结合表 1、表 5 以及输出系数的计算结果,发现丰水年降雨总量大,大雨和暴雨的场次多,对于旱地玉米来说,降雨总量、大雨和暴雨的场次,尤其是大雨和暴雨的场次是影响污染物输出的重要因子。

通过以上对比分析可以看出,丰水年产生的面源污染较多,平水年产生的面源污染相对较少。面源污染的流失量受到降雨特征、产流场次的总降雨量当年玉米生长季总降雨量的比例、产流时降雨类型的分布情况等多种因素的影响,丰水年受产流时降雨的类型影响更为明显。

4 结论

通过对比分析在 2014 年丰水年和 2013 年平水年两种不同降雨水平年条件下的面源污染流失规

律,可以得到以下结论:

(1)降雨量是影响玉米地产流的主要因素。小雨不会引起产流;前期降雨量比较少的条件下,中雨很难产生径流污染,但是在前一场次降雨量较高时,中雨也会引起产流,形成面源污染流失。旱作玉米产流受到降雨量、降雨强度、降雨前期干旱天数、前期土壤含水量和前一场次降雨量大小等多种因素的影响,而产流的大小主要由降雨量决定。

(2)本试验得出2014年玉米生长季TN、TP和COD_{Cr}的输出系数分别3.14 kg/hm²、0.27 kg/hm²、19.62 kg/hm²,较2013年都有所增加,即丰水年产生的面源污染相对平水年较多。2013年产流场次降雨总量为326.2 mm,占当年玉米生长季降雨总量的57%;2014年产流场次降雨总量为109.3 mm,占当年玉米生长季降雨总量的34%。面源污染的流失量受到产流场次的总降雨量当年玉米生长季总降雨量的比例、产流时降雨类型的分布情况等多种因素的影响,丰水年受产流时降雨的类型影响更为明显。

参考文献(References):

- [1] 于峰,史正涛,彭海英.农业非点源污染研究综述[J].环境科学与管理,2008,33(8):54-65. (YU Feng, SHI Zheng tao, PENG Haiying. The summary of the study on agricultural nonpoint source pollution[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(8): 54-65. (in Chinese))
- [2] 郑涛,穆环珍,黄衍初,等.非点源污染控制研究进展[J].环境保护,2005(2):31-34. (ZHENG Tao, MU Huan zhen, HUANG Yan chu, et al. Study progress on nonpoint source pollution[J]. Environmental Protection, 2005(2): 31-34. (in Chinese))
- [3] 朱松,方沛南,蓝雪春.降雨径流污染研究综述[J].中国农学通报,2009(12):240-245. (ZHU Song, FANG Pei nan, LAN Xue chun. Comment on rainfall runoff pollution[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009(12): 240-245. (in Chinese))
- [4] 苏保林,李卉,张磊,等.太滹沱河流域水稻田径流污染试验研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2012(5):453-457. (SU Bao lin, LI Hui, ZHANG Lei, et al. Rice athletics trials stream pollution Taigehu Canal Basin[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2012(5): 453-457. (in Chinese))
- [5] 管毓堂,苏保林,黄宁波,等.苏州相城区望亭镇水稻田降雨径流污染特征研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2014,50(5):496-502. (GUAN Yu tang, SU Bao lin, HUANG Ning bo, et al. Runoff pollution characteristics of a small paddy plot in Wangting Town of Xiangcheng District, Suzhou City, Jiangsu Province[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2014, 50(5): 496-502. (in Chinese))
- [6] 张丽萍,张锐波,吴希媛.不同管理方式竹林坡地降雨径流中氮磷流失特性模拟试验[J].水土保持学报,2011,25(6):F6. (ZHANG Li ping, ZHANG Rui bo, WU Xi yuan. Simulation rainfall experiment of nitrogen and phosphorus loss in surface runoff from bamboo forest slopes land under different managements[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(6): F6. (in Chinese))
- [7] 高效江,胡雪峰,王少平,等.淹水稻田中氮素损失及其对环境影响的试验研究[J].农业环境保护,2001,20(4):196-198. (GAO Xiao jiang, HU Xue feng, WANG Shao ping, et al. Loss of nitrogen in rice field and its influence on water environment[J]. Agror environmental Protection, 2001, 20(4): 196-198. (in Chinese))
- [8] 黄满湘,章申,唐以剑,等.模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J].土壤与环境,2001(01):6-10. (HUANG Man xiang, ZHANG Shen, TANG Yi jian, et al. Nitrogen losses from farm runoff under simulated rainfall conditions[J]. Soil and Environmental Sciences, 2001(01): 6-10. (in Chinese))
- [9] 刘占良,赫旭,安文超,等.大沽河流域农田径流污染研究[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2009(6):1305-1310. (LIU Zhan liang, HE Xu, AN Wen chao, et al. Dagu River Valley farmland runoff pollution studies[J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science, 2009(6): 1305-1310. (in Chinese))
- [10] 程文娟,史静,夏运生,等.滇池流域农田土壤氮磷流失分析研究[J].水土保持学报,2008,22(5):52-55. (CHENG Wen juan, SHI Jing, XIA Yun sheng, et al. Farmland runoff of nitrogen and phosphorus in Dianchi watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5): 52-55. (in Chinese))
- [11] 申萌萌,苏保林,黄宁波,等.辽河流域昌图县玉米地径流污染试验研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2014,50(5):491-495. (SHEN Meng meng, SU Bao lin, HUANG Ning bo, et al. Study on runoff pollution from the cornfield land of Changtu Country in Liao river watershed, Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2014, 50(5): 491-495. (in Chinese))
- [12] 水和废水监测分析方法编委会编.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002. (Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods Editorial. Water and wastewater monitoring analysis method[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese))
- [13] 孙敏,葛晓敏,高志强,等.不同降水年型休闲期耕作蓄水与旱地小麦籽粒蛋白质形成的关系[J].中国农业科学,2014,47(9):1692-1704. (SUN Min, GE Xiao min, GAO Zhi qiang, et al. Relationship between water storage conservation in fallow period and grains protein formation in dryland wheat in different precipitation years[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 47(9): 1692-1704. (in Chinese))
- [14] Zhang J C, Lin Z G. Climate of China[M]. New York: Wiley and Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1992.
- [15] 杨翠玲,祖艳群,李元,等.不同配比的蔬菜与玉米间套作削减农田径流污染的研究[J].农业环境科学学报,2013,32(2):378-384. (YANG Cui ling, ZU Yan qun, LI Yuan, et al. Re-

- duction of runoff from cultivated land with intercropping system of different ratio of vegetables to maize[J]. Journal of Agronomy Environment Science, 2013, 32(2): 378-384. (in Chinese)
- [16] 陈颖, 赵磊, 杨勇, 等. 海河流域水稻田氮磷地表径流流失特征初探[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2): 328-333. (CHEN Ying, ZHAO Lei, YANG Yong, et al. Preliminary study on characteristics of nitrogen and phosphorus runoff losses from rice fields in Hai river basin, China[J]. Journal of Agronomy Environment Science, 2011, 30(2): 328-333. (in Chinese))
- [17] 席运官, 陈瑞冰, 李国平, 等. 太湖流域坡地茶园径流流失规律[J]. 生态与农村环境学报, 2010(04): 381-385. (XI Yunguan, CHEN Ruibing, LI Guoping, et al. Surface runoff in tea gardens on slope land in Taihu lake region[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010(04): 381-385. (in Chinese))
- [18] 李承力, 杨特武, 徐君驰, 等. 丹江口库区坡耕地不同轮作模式作物生产力及农田养分流失比较[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 83-87. (LI Chengli, YANG Tiewu, LI Guoping, et al. Crop productivity and comparison of farmland nutrient loss in different crop patterns on slope land in Danjiangkou reservoir area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 83-87. (in Chinese))
- [19] 朱丹丹. 大庆地区农业非点源污染负荷研究与综合评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007. (ZHU Dandan. The load study and synthesized evaluation on agricultural nonpoint source pollution in Daqing area[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007. (in Chinese))
- [20] 李怀恩, 庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用[J]. 西安理工大学学报, 2003(04): 307-312. (LI Huai'en, ZHUANG Yongtao. The export coefficient modeling approach for load prediction of nutrient from nonpoint source and its application[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2003(04): 307-312. (in Chinese))

(上接第 14 页)

可以看出,与一般综合评价方法相比,HDE 评价方法有如下两个显著优势:

(1) HDE 评价方法完全符合一般综合评价方法的思路,同时又涵盖单因子评价方法,是集单因子评价方法、综合评价方法于一体的一种新方法。

(2) 该方法考虑到评价指标、标准的模糊性和权重不同的特性,同时又可以选择不 HD_0 不同判断标准来判别评价结果,体现出该方法判断评价结果的灵活性和多指标的综合性。

3 结语

本文在深入分析和谐度方程的基础上,根据综合评价的一般思路,结合水质评价具体问题和实例,详细介绍了和谐度方程(HDE)评价方法的步骤和具体应用。本文提出的 HDE 评价方法与一般综合评价方法相比具有独特的优势,可为一般水体的水质评价所参考,该方法还可以广泛应用于多种水文水资源综合评价中,比如湖泊水体富营养化评价、水安全评价、水资源承载力综合评价、水资源开发利用程度评价、水资源可再生能力评价、生态环境脆弱性评价等。

本文仅仅是提出和谐度方程的一个扩展应用,可能还有其他应用,期待着更多的成果问世。同时,期待对这一评价方法更多的检验和讨论。

参考文献(References):

- [1] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129-133. (ZUO Qiting. Mathematical description method and its application of harmony theory[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(4): 129-133. (in Chinese)).
- [2] 左其亭著. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012. (ZUO Qiting. Harmony theory: Theory, Method and Application[M]. Beijing: China Science Press, 2012. (in Chinese))
- [3] Qiting Zuo, Runfang Jin, Junxia Ma, et al. Description and Application of a Mathematical Method for the Analysis of Harmony[J]. The Scientific World Journal. 2015, (6), 1-9.
- [4] 左其亭. 和谐度方程在水文水资源领域应用展望[J]. 水资源研究, 2016, 5(2): F7. (ZUO Qiting. Application Prospect of Harmony Degree Equation in the Field of Hydrology and Water Resource[J]. Journal of Water Resources Research, 2016, 5(2): F7. (in Chinese))
- [5] GB 3838 2002, 地表水环境质量标准[S]. 北京: 国家技术监督局, 2002. (GB 3838 2002, Environmental quality standards for surface water[S]. Beijing: State Bureau of Technical Supervision, 2002. (in Chinese))