

内蒙古河套地区小麦适宜性评价研究

李世宝 (内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要 采集内蒙古河套地区小麦样品并分析有毒有害及有益元素含量, 对比小麦绿色食品重金属标准可知, 前套地区小麦各种有毒有害元素 Hg、Cd、As、Pb 含量均小于国家小麦标准, 为绿色食品; 后套地区小麦中的重金属含量基本符合无公害食品卫生标准, 不会对人体健康造成危害。前套地区小麦有害元素 Cd、Hg 较为富集, 但其含量均低于国家食品标准, 对人体健康没有危害性; 后套地区小麦中富含人体必需的微量元素 Cu、Zn、Se、K, 长期食用后套小麦对人体健康是有益的。

关键词 小麦; 适宜性; 生态效应; 评价

中图分类号 S512.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)15-067-04

Evaluation on Wheat Adaptability in Hetao Region, Inner Mongolia

LI Shi-bao (The Inner Mongolia Autonomous Region Geological Survey Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010020)

Abstract Wheat samples were collected from Hetao Region in Inner Mongolia, poisonous, harmful and beneficial elements content was analyzed. According to standard for heavy metals in wheat green food, Hg, Cd, As, Pb content were all less than the national standard in Qiantao Region; The content of heavy metals in Houtao Region was basically in accordance with the sanitary standard of non-polluted food, which would not harm the health of human body. Wheat harmful elements Hg, Cd in Qiantao Region was more concentrated, but its content was lower than the national standard, there was no harm to human health; wheat in Houtao Region was rich in human essential trace elements Zn, Cu, Se, K, long-term consumption was beneficial to human health.

Key words Wheat; Adaptability; Ecological effect; Evaluation

内蒙古河套地区土壤肥沃, 是内蒙古的主要农业区, 也是全国重要的优质小麦生产基地。河套小麦不仅子粒饱满、色泽美观、容重高, 而且品质优良。目前河套地区每年有 10 万 t 优质小麦原粮销往国内各地, 有 29.131 万 t 当地加工生产的优质面粉畅销国内 18 个省市并远销日本、蒙古、越南、俄罗斯等国家。河套地区生产的优质小麦和河套牌雪花粉及其系列产品已成为国内知名品牌, 具有广阔的发展前景。随着内蒙古自治区现代工业的发展, 环境污染加剧, 工业“三废”的排放及城市生活垃圾、污泥和含重金属农药、化肥的不合理施用, 导致小麦土壤的重金属污染, 进而污染小麦。小麦中的重金属可通过食物链进入人体而给人体健康带来潜在的危害, 因而研究小麦中重金属含量及适宜性具有重要的现实意义。笔者在前套地区和后套平原区共采集小麦样品 64 件, 分析了 As、Bi、Cd、Cr、Cu 等 31 项指标, 旨在研究河套地区小麦有毒有害和有益元素含量及对人体健康的影响。

1 有毒有害元素的生态效应评价

该研究中, 通过采集研究区小麦样品并分析有毒有害及有益元素含量, 对比国家小麦绿色食品重金属标准来评价小麦的生态效应。子实中 As、Cd、Hg 和 Pb 含量低于绿色食品卫生标准的样品称为绿色小麦; 大于绿色食品标准, 但低于无公害食品卫生标准的样品称为安全小麦; 子实含量大于无公害食品卫生标准的样品称为超标小麦。我国小麦无公害食品标准、绿色食品标准见表 1。

1.1 前套地区小麦中元素安全性评价 前套地区小麦主要种植在潮土区, 通过对前套小麦 As、Cr、Hg、Pb 及 F 元素的含量分析, 来评价前套小麦的食用安全性。

表 1 小麦中砷、镉、汞、铅含量相关标准

Table 1 Relevant standards of As, Cd, Hg, Pb content in wheat

指标 Indicator	无公害食品标准 Pollution-free food standard	绿色食品标准 Green food standard
砷(As)	≤0.50	≤0.40
镉(Cd)	≤0.20	≤0.10
汞(Hg)	≤0.02	≤0.01
铅(Pb)	≤0.40	≤0.20
氟(F)		≤1.00

注: 无公害食品标准数据来源于农业环境背景值协作组(1986)计算, 绿色食品标准参照 NY/T 421—2000。

Note: Data of pollution-free food standard are from agricultural environmental background value cooperative group (1986), green food standard refer to NY/T 421—2000.

对小麦颗粒中各种元素分析结果(表 2)进行统计, 与无公害小麦和绿色小麦重金属标准对比, 前套小麦果实中 Hg、Cd、As、Pb 和 F 含量均低于绿色小麦标准, 符合绿色食品标准, 可评为绿色食品。

1.2 后套地区小麦中元素安全性评价 河套地区的小麦主要分布在后套平原地区, 因此后套地区小麦的安全性决定了整个河套地区小麦的质量安全性。

根据后套平原土壤重金属含量分布特征, 对小麦果实进行重金属元素含量分析(见表 3、4、5), 分析结果与国家绿色食品标准进行比较(表 1), 后套地区小麦中 As、Hg 均符合标准; 仅有 1 件小麦样品 Cd 含量稍超过无公害食品卫生标准, 1 件超过绿色食品标准; 2006 年的小麦样品中的 Pb 有 18 件(占 2006 年总量的 90%)符合国家绿色食品标准, 1 件(占 5%)超过国家无公害食品卫生标准, 2007 年小麦样品中的 Pb 含量有 6 件(占总量的 40%)符合绿色食品标准, 3 件(占 20%)超过无公害食品卫生标准。

基金项目 中国地质调查局项目(200414200005)。

作者简介 李世宝(1970-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 高级工程师, 从事地球化学勘查研究。

收稿日期 2016-04-22

表2 前套地区小麦子实中各元素含量特征

Table 2 Characteristics of elements content in wheat fruit in Qiantao Region

元素 Elements	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient//%
Cd	0.100	65.500	20.700	18.83	91
As	0.001	0.182	0.037	0.03	91
Hg	0.300	2.000	1.200	0.47	37
Cr	0.190	3.050	0.900	0.59	66
Cu	3.860	7.700	6.250	0.97	16
Ni	0.200	0.750	0.390	0.14	36
Pb	0.030	0.190	0.120	0.17	58
Zn	23.500	53.100	35.400	7.00	20
F	0.200	0.890	0.360	3.74	33
Se	0.004	0.294	0.051	0.06	118

注:元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

据上述分析结果,后套小麦主要是 F 含量较高,这因为 F 的分析方法是酸溶,使 F 的全量均被分析出来,而不是碱溶,只析出对人体产生作用的部分,所以 F 的含量只作为参考。部分样品 Pb 含量超过绿色食品卫生标准,个别样品中 Cd、Pb 含量超过无公害食品卫生标准,这可能是由实验室测试误差引起的,因为采样地区均没有任何明显的工厂或者其他人为污染源,作物根系土中相关元素含量也与正常河套地区含量一样,不应该是采样地点被污染造成的。总体来说,后套小麦中的重金属含量基本符合无公害食品卫生标准,不会对人体健康造成危害。后套小麦子实中 Cd、As、Hg、Pb、F

含量的变异系数在 2006 年依次为 93%、39%、24%、91%、44%,2007 年依次为 106%、48%、23%、60%、19%,可见小麦子实中受外界环境影响最大的是 Cd,同时 Pb 受外界环境的影响也较大。

表3 后套地区小麦子实中重金属含量分布特征

Table 3 Distribution characteristics of heavy metal contents in wheat fruit in Houtao Region

元素 Elements	含量 Content	件数 Number (2006年/2007年)	百分比 Proportion (2006年/2007年)//%
As	<0.4	20/15	100/100
	0.4~0.5	0/0	0/0
	>0.5	0/0	0/0
Cd	<0.1	20/13	100/86
	0.1~0.2	0/1	0/7
	>0.2	0/1	0/7
Hg	<0.01	20/15	100/100
	0.0~0.02	0/0	0/0
	>0.02	0/0	0/0
Pb	<0.2	18/6	90/40
	0.2~0.4	1/6	5/40
	>0.4	1/3	5/20
F	<1.0	0/0	0/0
	>1.0	20/15	100/100

注:元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

表4 2006年后套地区小麦子实中各元素含量特征

Table 4 Characteristics of elements content in wheat fruit in Houtao Region after 2006

采样点 Sampling site	Cd	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	F	Se	Co
M22	1.70	0.035	0.80	1.23	1.06	5.40	28.70	0.071	7.30	0.110	0.100
M23	0.30	0.094	0.90	1.04	0.59	6.70	37.90	0.046	15.30	0.035	0.071
M24	0.10	0.036	0.50	1.01	0.80	6.40	25.40	0.087	17.00	0.028	0.065
M25	2.20	0.018	0.60	0.86	0.40	6.40	28.10	0.001	8.00	0.024	0.087
M26	0.90	0.034	0.80	0.83	0.46	4.60	23.00	0.004	11.00	0.054	0.134
M27	2.10	0.048	0.70	0.89	0.54	7.40	22.50	0.043	4.50	0.103	0.094
M28	3.10	0.027	0.90	0.78	0.41	4.90	25.40	0.190	7.30	0.098	0.075
M29	0.80	0.038	1.00	0.92	0.23	6.30	47.10	0.420	5.30	0.095	0.028
M30	0.70	0.042	0.90	0.97	0.66	6.60	38.60	0.053	1.00	0.058	0.079
M31	1.50	0.063	0.70	0.96	0.40	5.80	36.20	0.099	5.30	0.072	0.064
M32	0.50	0.057	1.00	1.10	0.34	6.30	46.70	0.048	7.50	0.109	0.100
M33	0.50	0.045	0.40	1.05	0.45	5.70	32.70	0.043	14.00	0.074	0.102
M34	0.10	0.058	0.70	1.16	0.57	6.50	36.80	0.088	10.50	0.050	0.093
M35	2.10	0.025	0.50	0.84	0.66	4.70	28.00	0.085	9.50	0.111	0.103
M36	0.60	0.033	0.70	1.07	0.60	5.60	28.80	0.105	8.10	0.074	0.105
MM5	4.00	0.063	0.90	0.91	0.46	4.60	26.30	0.083	8.50	0.097	0.114
MM6	7.10	0.042	1.10	0.90	0.40	6.30	27.80	0.089	6.50	0.029	0.106
MM7	2.90	0.047	0.90	1.12	0.47	6.90	21.80	0.087	10.00	0.093	0.100
MM8	2.60	0.052	0.90	1.07	0.58	6.00	35.40	0.200	13.00	0.051	0.198
MM9	2.20	0.028	0.60	0.82	0.41	5.70	44.10	0.220	7.50	0.089	0.073
最小值 Minimum value	0.10	0.018	0.40	0.78	0.23	4.60	21.80	0.001	1.00	0.024	0.028
最大值 Maximum value	7.10	0.094	1.10	1.23	1.06	7.40	47.10	0.417	17.00	0.111	0.198
平均值 Mean	1.80	0.044	0.80	0.98	0.52	5.90	32.10	0.103	8.80	0.072	0.095
标准偏差 Standard deviation	1.67	0.02	0.18	0.13	0.18	0.81	7.91	0.09	3.86	0.03	0.03
变异系数 Variation coefficient//%	93	39	24	13	35	14	25	91	44	41	35

注:表中元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他各元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

表 5 2007 年后套地区小麦子实中各元素含量特征

Table 5 Characteristics of elements content in wheat fruit in Houtao Region after 2007

采样点 Sampling site	Cd	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	F	Se	Co
LM1	51	0.060	1.10	2.39	0.56	5.80	19	0.334	14.70	0.136	0.052
LM2	31	0.147	1.38	2.66	0.46	5.40	25	0.364	17.40	0.153	0.065
LM3	132	0.060	0.83	2.41	0.44	5.80	26	0.157	14.70	0.060	0.057
LM4	30	0.158	1.38	2.14	0.62	9.30	30	0.319	10.10	0.015	0.063
LM5	20	0.081	1.38	0.75	0.41	7.70	27	0.219	11.40	0.045	0.036
LM6	267	0.070	0.83	1.90	0.48	6.90	34	0.150	10.50	0.035	0.049
LM7	28	0.075	0.83	0.85	0.33	4.80	21	0.124	10.90	0.032	0.034
WM1	90	0.039	0.83	0.72	0.36	7.00	35	0.219	13.00	0.026	0.037
WM2	63	0.075	1.10	0.85	0.44	7.50	37	0.453	10.10	0.059	0.034
WM3	36	0.055	0.83	1.04	0.32	8.80	46	0.079	11.90	0.034	0.026
WM4	45	0.045	0.83	0.85	0.46	7.00	30	0.150	11.90	0.027	0.038
WM5	34	0.096	0.83	1.47	0.62	7.90	29	0.492	13.50	0.060	0.044
XM1	43	0.050	0.83	4.11	0.31	7.50	34	0.201	8.10	0.021	0.038
XM2	22	0.070	1.10	0.85	0.56	9.00	34	0.538	10.50	0.028	0.043
XM3	18	0.034	0.83	1.18	0.65	7.30	33	0.045	11.90	0.020	0.029
最小值 Minimum value	18	0.034	0.83	0.72	0.31	4.80	19	0.045	8.10	0.015	0.026
最大值 Maximum value	267	0.158	1.38	4.11	0.65	9.30	46	0.538	17.40	0.153	0.065
平均值 Mean	61	0.074	0.99	1.61	0.47	7.20	31	0.256	12.00	0.050	0.043
标准偏差 Standard deviation	64.45	0.04	0.23	0.98	0.11	1.32	6.84	0.15	2.32	0.04	0.01
变异系数 Variation coefficient//%	106	48	23	61	24	18	22	60	19	82	28

注:表中元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他各元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

2 有益元素生物有效性评价

2.1 前套小麦的生物有效性评价 目前国家还没有制定关于有益元素和稀土元素在小麦子实中的相关卫生标准,此次工作通过对小麦中有益元素、稀土元素以及有害元素富集系数特征进行分析,对小麦的生物有效性作出评价。

前套地区小麦中各元素富集系数见表 6, Mn、Mo、N、P、Se、Zn、K、Cu 属于强富集元素,稀土元素为低富集元素。其中 N 的富集主要是作物在大气中的固氮作用造成, P 的富集可能也与固磷作用有关, Mo 是仅次于 N、P 的富集元素。Mn、Se、Zn、K 的富集系数也较大,在 7.34% ~ 52.87%; 稀土元素富集系数最大的为 Eu,也仅为 0.18%,最小的是 Y 和 Yb,均为 0.05%。有害元素中, Cd、Hg 在小麦中较为富集,但其含量均低于国家食品标准,因此河套小麦没有危害性。

2.2 后套地区小麦的生物有效性评价 后套小麦中未进行稀土元素以及 N、P 等元素的分析,从小麦中各元素富集系数可以看出(表 7),后套地区小麦中 Cu、Zn、Se 富集能力较其他元素高,它们是人体必需的微量元素,虽然 Cu、Zn、Se 含量在国家食品标准中未作出相关规定,但表 4 和 5 中数据表明,后套小麦中富含 Cu、Zn、Se。

对后套小麦果实中各元素富集系数进行统计,从表 7 中可出,后套小麦中呈强富集的元素是 Cu、Zn、Se。Mn 呈强富集到中等富集,有害元素中 Hg、Ni 以中等富集为主,正常富集为辅; F 以正常富集为主,中等富集为辅; Co 以正常富集为主,弱富集为辅; Cd、As、Pb 以弱富集为主,正常富集为辅; Fe、Cr 全呈弱富集。

虽然 Cu、Zn、Se 含量在国家食品标准中未作出相关规定,但后套小麦中较富含 Cu、Zn、Se。特别是 Se,有 9 处样品

中含量大于 0.10 $\mu\text{g/g}$,已达到富 Se 产品;还有 8 处小麦中 Se 含量大于 0.074 $\mu\text{g/g}$,接近富 Se 农产品含量值。小麦中 Zn 含量范围从 19.2 ~ 46.5 $\mu\text{g/g}$,其他元素 K、Cu 含量也较高,说明后套小麦品质优良。

从上述特征看出,后套地区小麦中富 Cu、Zn、Se、K,它们是人体必需的微量元素,说明后套小麦是富 Cu、Zn、Se 小麦。

3 小麦适宜性评估

适宜性评价是评定农作物在土壤中是否适宜生长以及适宜的程度,它是进行土地利用决策,科学编制农作物种植规划的基本依据。植物对不同元素的吸附性能不同,而不同元素对植物产生的生物效应也有所差异。对有害元素的过度吸收会造成有害元素超标,使植物中毒,影响植物的生长,使植物果实的质量降低,进入食物链后对人类健康产生影响。植物吸收有益元素,有助于其正常生长发育,有益元素在果实中富集,有利于人类身体健康。

该试验根据河套地区土壤元素分布特征和小麦种植区的分布特点进行采样,分 3 年对河套地区小麦种植区的小麦—土壤体系进行调查,采集了 62 件小麦及其根系土壤,对根系土中的有毒有害重金属和营养元素进行了评价。

3.1 前套地区小麦的适宜性评估 在前套土默特地区采集根系土,分析其中 As、Bi、Cd、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、N、Ni、P、Pb、Se、Zn、K₂O 含量,与国家土壤环境质量(GB15618—1995)已有元素标准进行比较,前套小麦种植区样品根系土重金属含量仅有 2 件样品 As 含量、1 件样品的 Cr、Ni 含量稍高于国家土壤一级环境质量标准限制(Cr、Ni 比标准值高 1 $\mu\text{g/g}$),表明前套地区土壤基本符合一类土壤标准,适宜小麦的种植。

表6 前套地区小麦子实中各元素富集系数分布特征

Table 6 Distribution characteristics of enrichment coefficients of elements in wheat fruits in Qiantao Region

元素 Elements	占比 Proportion//%				最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Mean
	<0.5	0.5~1.5	1.5~4.5	>4.5			
Mn	0	0	0	100	4.841	9.928	7.34
Mo	0	0	0	100	74.229	142.832	106.57
N	0	0	0	100	1 064.750	3 366.540	1 994.75
P	0	0	0	100	331.509	859.047	493.14
Se	0	0	0	100	4.778	35.500	13.16
Zn	0	0	0	100	36.128	75.795	52.87
K	0	0	0	100	16.200	24.248	19.12
Ce	100	0	0	0	0.041	0.198	0.10
Dy	100	0	0	0	0.028	0.130	0.06
Er	100	0	0	0	0.033	0.155	0.08
Eu	100	0	0	0	0.068	0.323	0.18
Gd	100	0	0	0	0.037	0.153	0.08
Ho	100	0	0	0	0.030	0.150	0.08
La	100	0	0	0	0.047	0.192	0.10
Lu	100	0	0	0	0.035	0.135	0.07
Nd	100	0	0	0	0.043	0.184	0.09
Pr	100	0	0	0	0.038	0.175	0.08
Sm	100	0	0	0	0.031	0.183	0.08
Tb	100	0	0	0	0.042	0.144	0.08
Tm	100	0	0	0	0.042	0.135	0.08
Y	100	0	0	0	0.022	0.102	0.05
Yb	100	0	0	0	0.020	0.091	0.05
As	100	0	0	0	0.006	0.302	0.13
Bi	0	20	40	40	0.781	30.062	7.93
Cd	0	0	0	100	6.095	36.687	20.07
Cr	60	40	0	0	0.271	1.450	0.65
Cu	0	0	0	100	18.417	44.574	27.38
F	0	40	50	10	1.061	5.364	1.86
Hg	0	0	10	90	4.286	12.500	6.85
Ni	0	90	10	0	0.574	2.126	1.12
Pb	0	58	42	0	0.800	2.060	1.38

注:元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

表7 后套地区小麦中各元素富集特征

Table 7 Enrichment characteristics of elements in wheat in Houtao Region

元素 Elements	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Mean	占比 Proportion//%			
				<0.5	0.5~1.5	1.5~4.5	>4.5
Cd	0.023	1.243	0.598	53.3	46.7	0	0
As	0.105	0.529	0.251	93.3	6.7	0	0
Hg	1.247	2.798	2.002	0	26.7	73.3	0
Co	0.209	1.388	0.706	33.3	66.7	0	0
Cr	0.821	1.560	1.185	100.0	0	0	0
Cu	12.041	27.354	18.869	0	0	0	100.0
Fe	0.074	0.163	0.126	100.0	0	0	0
Mn	3.835	5.615	4.885	0	0	13.3	86.7
Ni	0.651	3.226	1.658	0	46.7	53.3	0
Pb	0.003	1.638	0.358	86.7	6.7	6.7	0
Zn	26.591	53.514	38.775	0	0	0	100.0
F	0.122	2.983	1.384	6.7	66.7	26.7	0
Se	8.482	47.357	26.579	0	0	0	100.0

注:元素 Cd、Hg 的计量单位为 ng/g,其他元素为 $\mu\text{g/g}$ 。

Note: The unit of Cd, Hg is ng/g, the unit of other elements is $\mu\text{g/g}$.

在所分析项目中, Mn、Mo、N、P、Se、Zn、K 是对人类有益的元素, N 是小麦中蛋白质的主要成分, 其他是人体必需的营养元素, 小麦对这几种元素也存在一定程度的富集, 说明前套地区小麦品质优良, 是富 Mn、Mo、P、Se、Zn、K 的优良小麦。

3.2 后套地区小麦的适宜性评估 后套地区种植小麦的灌

淤土是各种元素均比较富集的土壤类型。后套小麦比较富集 Se、Cu、Zn 及 Mn 等人体必需微量元素, 是具有极高营养价值的农作物样品。

根据对后套地区小麦的分析, 绝大多数地区小麦中有害元素含量较低, 有益元素中 Se、Zn、Cu、K 等含量较高, 特别是

(下转第 159 页)

用途^[11]。

2.2 湿地部分主要植物体内重金属含量 从图 3~5 可见,不同植物体内重金属含量不同,总体而言,各植物体内 Cu 含量较低,Cd 次之,Pb、Zn 的含量较高。另外,同种植物中,根中重金属含量高于叶,叶中重金属含量高于茎。

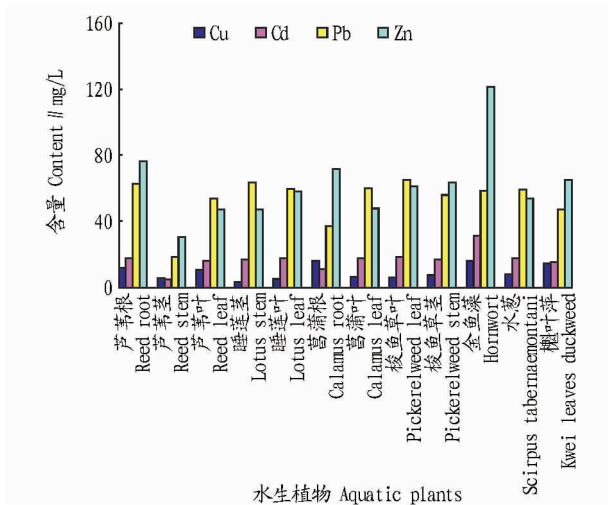


图 5 2015 年 5 月人工湿地水生植物对重金属的吸收

Fig.5 The adsorption of aquatic plants to heavy metal in constructed wetland in Jun. 2015

3 结论与讨论

(1) 该研究结果表明,黄山屯溪湿地公园丰水期的水质明显优于枯水期水质,达地表水环境质量Ⅲ类标准(GB 3838—2002)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 19818—2002)中一级 A 类标准,处理效果较为理想。

(2) 湿地植物在人工湿地污水处理工程中扮演着重要角色,是人工湿地系统的重要组成部分,直接或间接地影响人工湿地系统对污水的净化效果。从该研究试验数据可以

看出,同种植物根中重金属含量大于子叶,叶中重金属含量大于茎,不同植物对不同重金属的吸收能力不同。

(3) 利用人工湿地去污水虽然已得到广泛运用,取得了良好效果,但多数都采用单一植物品种,植物群落结构简单、种间搭配不科学及冬季观赏绿量不足等问题,严重影响了人工湿地的净化能力。因此,人工湿地植物配置时应选择对 N、P 吸收能力强,具抗逆性,对金属元素富集能力强,适应能力强的植物,从根本上达到去污效果^[12],同时也能得到良好的湿地景观效果^[13]。

参考文献

- [1] 白晓慧,王宝贞,余敏,等.人工湿地污水处理技术及其发展应用[J].哈尔滨建筑大学学报,1999,32(6):88-92.
- [2] PATRICK D. Implementation of constructed wetlands in developing countries [J]. Wat Sci Tech,1997,35(5):27-34.
- [3] HAMMER D A. Constructed wetlands for wastewater treatment [M]. Michigan:Lewis Publishers Inc,1989;5-20.
- [4] 龚琴红,田光明,吴坚阳,等.垂直流湿地处理低浓度生活污水的水力负荷[J].中国环境科学,2004,24(3):275-279.
- [5] VRHOVSEK K D. Constructed wetland for industrial wasted water treatment [J]. Wat Res,1996,30:2287-2292.
- [6] GREEN M B, MARTIN J R. Constructed reed beds clean up storm over flows on small was tewater treatment works[J]. Wat Environ Res,1996,68:1054-1060.
- [7] SCHOLES L, SHUTESR B E, REVITT D M, et al. The treatment of metals in urban runoff by constructed wetlands [J]. The science of the total environment,1998,214:211-219.
- [8] BRASKERUD B C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution[J]. Ecological engineering,2002,18:351-370.
- [9] 赵联芳,朱伟,赵建,等.人工湿地处理低碳氮比污染河水时的脱氮机理[J].环境科学学报,2006,26(11):1821-1827.
- [10] 周海兰.人工湿地在重金属废水处理中的应用[J].环境科学与管理,2007,32(9):89-91.
- [11] 中国环境保护总局.城镇污水处理厂污染物排放标准:GB19818—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [12] 孙黎,余李新,王思麒,等.湿地植物对去除重金属污染的研究[J].北方园艺,2009(12):125-129.
- [13] 王正超,文剑平,刘彩霞.水生观赏植物在湿地建设中的应用[J].湿地科学与管理,2006(6):40-42.

(上接第 70 页)

部分地区 Se 已达到富 Se 标准,是极具开发价值与品牌效应的名优产品。

4 结论与建议

对比小麦绿色食品重金属标准,前套地区小麦各种有毒有害元素 Hg、Cd、As、Pb 均小于国家小麦标准,为绿色食品。后套小麦中的重金属含量基本符合无公害食品卫生标准,不会对人体健康造成危害。

前套地区小麦有害元素中 Cd、Hg 在小麦中较为富集,

但其含量均低于国家食品标准,因此河套小麦没有危害性。后套地区小麦中富 Cu、Zn、Se、K,它们是人体必需的微量元素,长期食用后套小麦对人体健康是有益的。

参考文献

- [1] 杨忠芳,白铁.现代环境地球化学[M].北京:地质出版社,2001:22-28.
- [2] 蔡晓明.生态系统生态学[M].北京:科学出版社,2002:42-44.
- [3] 中国地质调查局.区域生态地球化学评价技术要求[S].北京:中国地质调查局,2005:56-60.
- [4] 王沛东,黄增芳,王喜宽,等.河套地区优质小麦种植基地地球化学评价报告[R].2009.