

猪场废水灌溉对潮土交换性盐基离子含量的影响

白丽静, 王 风, 张克强, 黄治平

(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘 要:通过田间小区试验,研究了猪场废水处理工艺中3个阶段出水(原水、厌氧水和仿生态塘水)与地下水1:5混水和厌氧水不同灌溉量灌溉对土壤中交换性盐基离子含量的影响。结果表明,厌氧水不同灌溉量对土壤中交换性钾含量影响显著,与对照相比,厌氧水高量灌溉、中量灌溉、低量灌溉分别使0~20 cm和20~40 cm土层中交换性钾含量提高了291.76%、152.70%、83.11%和116.10%、74.29%、49.85%;对交换性钠、钙、镁含量有一定影响,但处理间未达到显著水平。不同阶段出水混水灌溉对交换性钾、钠、钙、镁的含量处理间未达到显著水平,但土壤中交换性钾和钠含量在0~20 cm和20~40 cm和处理间呈现了相反的变化趋势,验证了竞争吸附点位理论。

关键词:猪场废水;灌溉;潮土;交换性盐基离子

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)03-0510-05

Effects of Swine Wastewater Irrigation on Contents of Exchangeable Cations in Aquatic Soil

BAI Li-jing, WANG Feng, ZHANG Ke-qiang, HUANG Zhi-ping

(Institute of Agro-Environmental Protection, Ministry of Agriculture of China, Tianjin 300191, China)

Abstract: Swine wastewater is one of the main wastewater resources of irrigation, but using this water for irrigation directly may be harmful to plants and bring potential risk to environment. To promote the reasonable irrigation strategy of swine wastewater, field experiments were conducted to investigate the effects of different quota of anaerobic wastewater and different treatment stages of swine wastewater irrigation on contents of exchangeable kalium, sodium, calcium, magnesium. The results showed that: (1) the quota of anaerobic wastewater has significant effect on the content of exchangeable kalium, contrasting with control, the content of exchangeable kalium under high-quota irrigation, medium-quota irrigation, low-quota irrigation treatments were enhanced by 291.76%, 152.70%, 83.11% and 116.10%, 74.29%, 49.85% in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers, respectively; while the contents of exchangeable sodium, calcium and magnesium were not such significant; (2) the swine wastewater of different treatment stages has little effect on contents of exchangeable kalium, sodium, calcium, magnesium; (3) the contents of exchangeable kalium and sodium in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers show opposite tendency, which verify the theory of competitive adsorption of points.

Keywords: swine wastewater; irrigation; aquatic soil; exchangeable cation

我国北方地区水资源十分匮乏,农业灌溉缺水日趋严重,废水成为农业灌溉水源的重要组成。废水灌溉一方面可为植物生长提供重要的养分,促进作物的生长和产量的提高^[1];另一方面也可能引起一系列的

生态环境问题,如土壤重金属积累^[2-3],表层土壤微生物污染^[4],地下水污染^[5]等。此外,废水灌溉也可能通过影响土壤交换性盐基离子含量而改变土壤质量。国外学者已经得出部分结论:Kiziloglu等^[6]用地下水、未处理、预处理和初级处理废水地面灌溉菜花和紫色包心菜菜地后发现,废水灌溉能提高土壤中的交换性钾钠钙含量,且未处理>预处理>初级处理;Rafael等^[7]用处理过的生活污水灌溉巴西甘蔗田发现,土壤剖面中交换性钠含量有所增加;Munir J等^[8]用市政污水灌溉饲料作物后发现,土壤中交换性钾含量随灌溉时间增长

收稿日期:2009-07-15

基金项目:“十一五”国家科技支撑项目(2006BAD17B02);中央级公益性科研院所基本科研业务专项(农业部环境保护科研监测所)

作者简介:白丽静(1982—),女,河北唐山入,硕士研究生,从事废水灌溉研究。E-mail:blj168222@126.com

通讯作者:张克强 E-mail:kqzhang68@126.com

而增加,而且表层土交换性钾含量较高。但是国内在此方面的研究较少,而针对养殖废水——伴随规模化养殖场出现的新型灌溉废水,进行研究的更少。本文通过测试养殖废水灌溉条件下潮土 0~40 cm 土层交换性钾钠钙镁含量,揭示养殖废水灌溉对土壤盐分的累积效应。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2007 年 9 月底至 2008 年 9 月底在天津市西青区杨柳青镇益利来养殖场内进行,作物种植制度为冬小麦-夏玉米轮作,2007 年 9 月底至 2008 年 6 月中旬种植冬小麦,2008 年 6 月中旬至 2008 年 9 月底种植夏玉米。该地区气候介于大陆性气候和海洋性气候之间,四季变化明显。年平均气温 11.0~12.5℃,≥0℃积温生长季始于 3 月上旬,终于 11 月下旬,≥10℃活动积温 4 000~4 300℃,≥10℃初日在 4 月上旬,终日在 10 月下旬。多年平均降水量 577.8 mm,主要集中在 7—8 月,10 月份至翌年 6 月份冬小麦生长季节多年平均降水量 107.7 mm^[9]。年平均日照时数在 2 610~3 090 h 之间,年太阳总辐射量在 125~135 kW·cm⁻² 之间,年无霜期 180~190 d。

供试土壤为潮土,耕层容重为 1.39 g·cm⁻³,田间持水量为 40.8%,砂粒、粉粒和黏粒含量分别为 62.2%、29.5%和 8.3%,土壤质地为砂壤土(美国制);耕层基础肥力全氮 0.66 g·kg⁻¹,铵态氮 4.94 mg·kg⁻¹,硝态氮 21.27 mg·kg⁻¹,全磷 0.60 g·kg⁻¹,速效磷 41.05 mg·kg⁻¹,有机质 1.12%,土壤 pH 值为 7.98。

试验小区面积 50 m²(10 m×5 m),于 2008 年 9 月 30 日夏玉米收获时按照 0~20 cm 和 20~40 cm 土层采集土样。试验设 8 个处理,每个处理 3 次重复。小区间用 1 m 深防水土工布隔离。灌溉用水分别为原水(猪圈舍干清粪后地下水冲洗直接流入预处理池的水)、厌氧水(原水经塞流厌氧发酵工艺处理后,停留周期为 5 d 的出水)、仿生态塘水(经曝气、人工净水草和植物吸收处理后的厌氧水)及地下水(试验地外

6 m 深井水),用水时现取,灌溉水质如表 1 所示。

1.2 试验设计

试验设置厌氧水不同灌溉量处理和不同处理阶段出水混水灌溉处理:处理 1,厌氧水高量灌溉(T_{Hanae}),灌水定额为 830 m³·hm⁻²;处理 2,厌氧水中量灌溉(T_{Mnae}),灌水定额为 500 m³·hm⁻²;处理 3,厌氧水低量灌溉(T_{Lanae}),灌水定额为 160 m³·hm⁻²;处理 4,厌氧水与地下水 1:5 混水灌溉($T_{anae:gw1:5}$),灌水定额为 830 m³·hm⁻²;处理 5,仿生态塘水与地下水 1:5 混水灌溉($T_{eco:gw1:5}$),灌水定额为 830 m³·hm⁻²;处理 6,原水与地下水 1:5 混水灌溉($T_{ori:gw1:5}$),灌水定额为 830 m³·hm⁻²;处理 7,地下水灌溉,灌水定额为 830 m³·hm⁻²;处理 8,对照(CK),地下水灌溉,灌水定额为 830 m³·hm⁻²。除处理 8 基施尿素和磷酸二铵分别为 355.5 和 1 115.5 g·区⁻¹外,其他处理不作任何施肥处理。

1.3 样品测定

土壤交换性钾钠钙镁采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAC 浸提,Varian 220 火焰原子吸收分光光度法测定^[10];水样中不可滤态钾钠钙镁采用电热消解仪消解,Varian 220 火焰原子吸收分光光度法测定;水质土壤中有机质采用重铬酸钾容量法测定^[10]。

1.4 数据处理

图表处理在 Excel2003 下完成,试验结果在 SAS 9.0 中用 Duncan's 新复极差法进行比较分析。

2 结果与分析

2.1 猪场废水灌溉对土壤交换性钾含量的影响

交换性钾是表征土壤速效钾的主要指标。猪场废水灌溉对土壤交换性钾含量的影响见图 1。所有处理土壤中交换性钾含量均呈现 0~20 cm 土层高于 20~40 cm 土层,主要是因为外源钾的输入,且钾移动性较弱^[12];此外,夏季高温高湿的条件和植物对表层土壤矿物钾的活化作用也促进了表层土壤交换性钾含量的增加^[11]。

厌氧水不同灌溉量条件下 0~20 cm 和 20~40 cm

表 1 灌溉水水质

Table 1 The chemical composition in irrigation water

项目	全 K/mg·L ⁻¹	全 Na/mg·L ⁻¹	全 Ca/mg·L ⁻¹	全 Mg/mg·L ⁻¹	NH ₄ -N/mg·L ⁻¹	COD/mg·L ⁻¹
原水(Origin)	572.93~674.9	364~470	177.3~260.2	97~105	823~900	760~7 722
厌氧水(Anaerobic)	300.8~462.8	338~402.2	87.8~116.4	63.12~100	740~810	305~2 266
仿生态塘水(Eco-pond)	227.93~398.3	394~540	119.6	84.86~109.84	62~685	164~1 960

注:全量钾钠钙镁指样品中不可滤态钾钠钙镁总量。

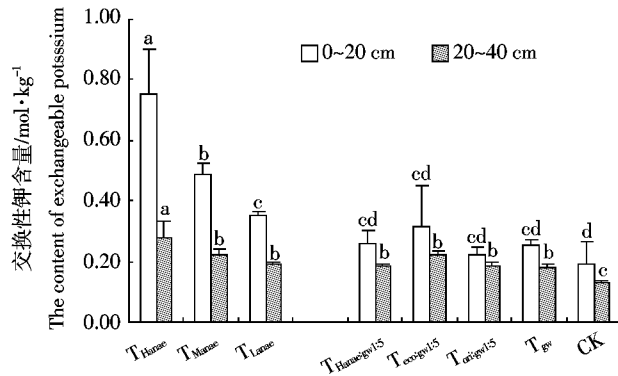


图1 猪场废水灌溉对土壤交换性钾含量的影响

Figure 1 Effect of swine water irrigation on content of exchangeable potassium in soil

土层交换性钾含量均呈现了 $T_{Hanae} > T_{Manae} > T_{Lanae} > CK$ 的趋势, 且 0~20 cm 土层交换性钾含量在 T_{Hanae} 、 T_{Manae} 、 T_{Lanae} 、 CK 间达到显著水平 ($P < 0.05$)。可见厌氧水灌溉量显著影响土壤交换性钾含量, 且随灌溉量增加土壤交换性钾含量增大。不同处理阶段出水混水灌溉对 0~20 cm 和 20~40 cm 土层交换性钾含量均未产生显著性差异, 原水中全钾含量较其他两种水高, 而土壤中交换性钾含量却是仿生态塘混水灌溉高于原水混水灌溉和厌氧水混水灌溉, 这可能是因为原水中有有机态成分较多, 短期内不会被植物直接吸收利用的结果。

2.2 猪场废水灌溉对土壤交换性钠含量的影响

交换性钠是有效钠的表征指标, 同时又是与土壤水盐运移密切相关的指标。猪场废水灌溉对土壤交换性钠含量的影响见图 2。不同处理土壤中交换性钠含量呈现 20~40 cm 土层高于 0~20 cm 土层的趋势, 与交换性钾含量特征相反。这与 Jobbágy E G^[13] 和 Uwe

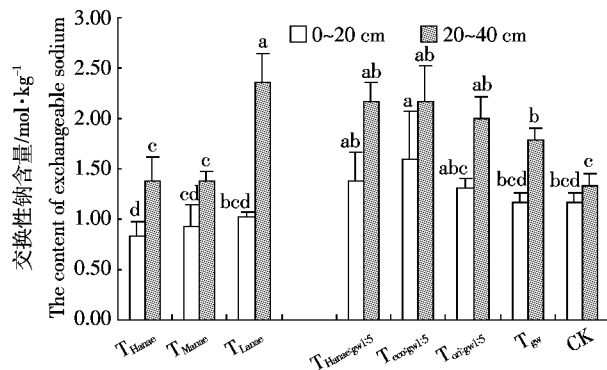


图2 猪场废水灌溉对土壤交换性钠含量的影响

Figure 2 Effect of swine water irrigation on content of exchangeable sodium in soil

Herpin^[14] 的研究结果是一致的。主要因为钠并非植物生长所必需的元素, 而且钠较活泼, 易淋溶^[7]到下部土层, 另外 0~20 cm 土层高吸附浓度的钾也可能抑制土壤对钠离子的吸附。

厌氧水不同灌溉量 0~20 cm 土层交换性钠含量呈现 $T_{Hanae} < T_{Manae} < T_{Lanae} < CK$ 的趋势, 20~40 cm 土层呈现 $CK < T_{Manae} < T_{Hanae} < T_{Lanae}$ 的趋势, 且 20~40 cm 土层 T_{Lanae} 处理交换性钠含量与 CK 、 T_{Manae} 、 T_{Hanae} 间达到 5% 显著水平。其主要原因可能是离子间竞争有限吸附点位, 而且 Na^+ 在 1:1 型或 2:1 型粘土矿物中吸附能力都要小于 K^+ , 所以表现出处理间随交换性钾含量增加交换性钠离子含量降低。此外, 厌氧水灌溉处理土壤交换性钾含量普遍比混水灌溉处理的大, 而厌氧水灌溉处理土壤交换性钠含量普遍比混水灌溉处理的小, 这个现象也再次验证了离子竞争吸附机制。不同处理阶段出水混水灌溉时, $T_{eco/gw1:5}$ 处理 0~20 cm 土层交换性钠含量与 CK 间达到 5% 显著水平; $T_{anae/gw1:5}$ 、 $T_{eco/gw1:5}$ 、 $T_{origw1:5}$ 、 T_{gw} 20~40 cm 土层交换性钠含量分别比 CK 大 62.8%、62.8%、50.2%、33.5%, 均达到 5% 显著水平。

2.3 猪场废水灌溉对土壤交换性钙含量的影响

猪场废水灌溉对土壤交换性钙含量的影响见图 3。不同处理土壤中交换性钙含量 0~20 cm 土层低于 20~40 cm 土层, 这可能与表层土壤有机质含量有关^[15], 表层有机质含量高从而增加了对土壤中钙的固持。而且 Jobbágy E G 等^[13] 研究表明, K^+ 与 Ca^{2+} 的浓度比小于 1:10 时 (本实验 < 0.1), 钾分布较钙浅, 所以表层土壤交换性钾含量较 20~40 cm 土层高, 而交换性钙含量表层土壤较 20~40 cm 土层低。

厌氧水不同灌溉量条件下 0~20 cm 土层和 20~40 cm 土层交换性钙含量呈现了 $T_{Hanae} < T_{Manae} < T_{Lanae} < CK$

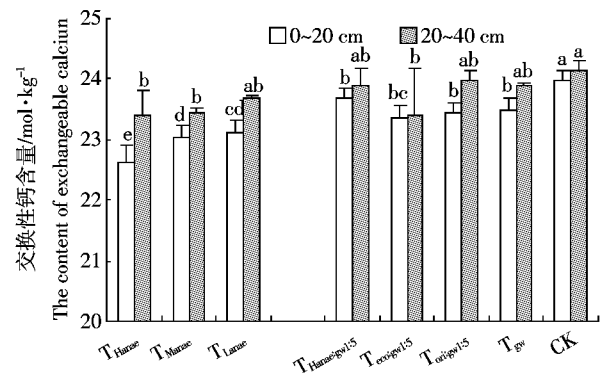


图3 猪场废水灌溉对土壤交换性钙含量的影响

Figure 3 Effect of swine water irrigation on content of exchangeable calcium in soil profile

的趋势,且CK与 T_{Hanae} 、 T_{Manae} 、 T_{Lanae} 达到显著水平($P<0.05$)。不同处理阶段出水混水灌溉条件下,0~20 cm 土层交换性钙含量CK与 $T_{anae:gw1:5}$ 、 $T_{eco:gw1:5}$ 、 $T_{ori:gw1:5}$ 、 T_{gw} 间达到5%显著水平。而且所有处理条件下交换性钙含量均呈现了0~20 cm 土层略低于20~40 cm 的趋势,这可能是因为0~20 cm 土层 PO_4^{3-} 含量较20~40 cm 土层高,而 PO_4^{3-} 和钙形成络合沉淀,从而导致0~20 cm 土层交换性钙含量低于20~40 cm 土层。

2.4 猪场废水灌溉对土壤交换性镁含量的影响

猪场废水灌溉对土壤交换性镁含量的影响见图4。不同处理土壤交换性镁含量大体呈现0~20 cm 土层低于20~40 cm 土层的趋势,这可能由两种作用引起:一是与表层土壤有机质对镁的固持作用有关^[15];二是 K^+ 与 Mg^{2+} 之间存在拮抗作用, K^+ 与土壤中的 Mg^{2+} 竞争吸附点位,从而加速了土壤中 Mg^{2+} 的流失^[16]。

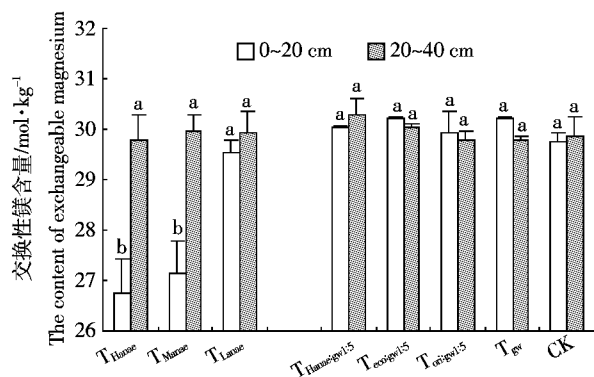


图4 猪场废水灌溉对土壤交换性镁含量的影响

Figure 4 Effect of swine water irrigation on content of exchangeable magnesium in soil profile

厌氧水不同灌溉量条件下0~20 cm 和20~40 cm 土层交换性镁含量总体呈现 $T_{Hanae}<T_{Manoe}<T_{Lanae}<CK$ 的趋势,且0~20 cm 和20~40 cm 土层交换性镁含量CK处理与 T_{Hanae} 、 T_{Manoe} 、 T_{Lanae} 间达到显著水平($P<0.05$)。不同处理阶段出水混水灌溉对0~20 cm 土层和20~40 cm 土层交换性镁含量影响不大,这与Kalavrouziotis^[17]的研究是一致的,Kalavrouziotis 等用处理过的市政污水灌溉花椰菜和芽甘蓝后发现,市政污水灌溉对土壤中交换性镁含量的影响不显著。

3 结论

应用本试验设置的猪场废水灌溉夏玉米农田后发现,交换性钾含量与交换性钠含量呈现了相反的趋势,交换性钾含量0~20 cm 土层大于20~40 cm 土层,

而交换性钠含量20~40 cm 土层大于0~20 cm 土层;不同量的厌氧水灌溉处理土壤交换性钾含量普遍比不同处理阶段出水与地下水1:5混水灌溉处理的大,而不同量的厌氧水灌溉处理土壤交换性钠含量普遍比不同处理阶段出水与地下水1:5混水灌溉处理的小,这些都很好的验证了土壤各种离子间存在竞争吸附点位问题。

与对照相比,本试验设置的猪场废水对土壤中交换性钾含量影响较大且达到显著水平,而对交换性钠钙镁含量影响不显著。因此,还有待开展长期的试验研究,以期对交换性盐分的机理进行更深层次的探讨,为科学利用猪场废水进行农田灌溉提供理论依据。

参考文献:

- [1] 齐学斌,李平,亢连强,等.变饱和带条件下污水灌溉对土壤氮素运移和冬小麦生长的影响[J].生态学报,2008,28(4):1635-1645.
QI Xue-bin, LI Ping, KANG Lian-qiang, et al. Impact of depth of ground-water table on nitrogen dynamics in soil under sewage irrigation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1635-1645.
- [2] 张彦,张惠文,苏振成,等.污水灌溉对土壤重金属含量、酶活性和微生物类群分布的影响[J].安全与环境学报,2006,6(6):44-50.
ZHANG Yan, ZHANG Hui-wen, SU Zhen-cheng, et al. Effect of sewage irrigation on the distribution of heavy metal, enzyme activities and microbial population in the soil[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2006, 6(6): 44-50.
- [3] 田媛,杨昕,花伟军,等.城市周边生活污水排放对绿地土壤环境质量的影响[J].生态学报,2008,28(2):742-748.
TIAN Yuan, YANG Xin, HUA Wei-jun, et al. Fuzzy analysis of the effect of city sewage water on environmental quality of greenspace soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 742-748.
- [4] Rosa Aiello, Giuseppe Luigi Cirelli, Simona Consoli. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy)[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 93: 65-72.
- [5] Gallegos E, Warren A, Robles E, et al. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico[J]. *Water Science and Technology*, 1999, 40(2): 45-52.
- [6] Kiziloglu F M, Turan M, Sahin U, et al. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 716-724.
- [7] Rafael Marques Pereira Leal, Uwe Herpin, Adriel Ferreira da Fonseca, et al. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugar-cane irrigated with wastewater[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96: 307-316.
- [8] Munir J Mohammad Rusan, Sami Hinnawi, Laith Rousan. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality pa-

- rameters[J]. *Desalination*, 2007, 215:143–152.
- [9] 刘晓英, 林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响[J]. 水利学报, 2004(2):77–82, 87.
- LIU Xiao-ying, LIN Er-da. Impact of climate change on water requirement of main crops in North China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004(2):77–82, 87.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Chemical analysis methods of soil and agriculture[M]. Beijing: Agricultural Scientific & Technology Press of China, 2000.
- [11] Officer S J, Tillman R W, Palmer A S. Plant available potassium in New Zealand steep-land pasture soils[J]. *Geoderma*, 2006, 133:408–420.
- [12] Arienzo M, Christen E W, Quayle W, et al. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164:415–422.
- [13] Jobbágy E G, Jackson R B. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants[J]. *Biogeochemistry*, 2001, 53: 51–77.
- [14] Uwe Herpin, Thomas Vincent Gloaguen, Adriel Ferreira da Fonseca. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in Brazil[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 89:105–115.
- [15] 陈建国, 张杨珠, 曾希柏, 等. 长期不同施肥对水稻土交换性钙、镁和有效硫、硅含量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5):2064–2067.
- CHEN Jian-guo, ZHANG Yang-zhu, ZENG Xi-bai, et al. Effects of long-term various fertilization on exchangeable Ca and Mg, and available S and Si contents in paddy soils[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5):2064–2067.
- [16] 李 延, 刘星辉, 庄卫民. 山地龙眼园土壤镁素淋失特点模拟[J]. 山地学报, 2000, 18(3):248–252.
- LI Yan, LIU Xing-hui, ZHUANG Wei-min. The characteristics of leaching loss of magnesium in mountain soil of Longyan Orchard[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(3):248–252.
- [17] Kalavrouziotis I K, Robolas P, Koukoulakis P H, et al. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. *Italica*, and *B. oleracea* var. *Gem-mifera*[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95:419–426.