

灌溉水质对苜蓿早期生长及养分吸收的影响

王晋兴¹, 李晓娜², 武菊英², 卜玉山¹

(1.山西农业大学资源与环境学院, 山西 太谷 030801; 2.北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

摘要:采用盆栽试验方法,设计7种不同灌溉水质对苜蓿(*Medicago sativa* L. cv. 'Algonquin')进行灌溉处理,包括:清水灌溉(F)、再生水灌溉(R)、等营养水灌溉(E)、清水和再生水交替灌溉(T)、再生水和清水 1:1 混合灌溉(FR)、再生水和清水 1:2 混合灌溉(F2R)、再生水和清水 2:1 混合灌溉(2FR)。研究表明,与清水灌溉(F)相比,再生水灌溉(R)可以明显提高苜蓿的株高和侧枝数水平;交替灌溉(T)和混合灌溉(2FR)对提高苜蓿干草产量作用明显;各灌溉水质对苜蓿叶茎比、根冠比和根系活力的影响都是暂时性的,长期进行灌溉影响不显著;混合灌溉(FR、F2R、2FR)和再生水灌溉(R)会提高苜蓿体内氮、钙和镁的含量,而对钾的含量没有影响,苜蓿体内磷的含量随各灌溉水质中磷含量的增加而减小。

关键词:再生水;苜蓿;生长;养分吸收

中图分类号:X503.233 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)03-0522-05

Effects of the Qualities of Irrigation Water on the Early Growth and Nutrient Uptake of Alfalfa

WANG Jin-xing¹, LI Xiao-na², WU Ju-ying², BU Yu-shan¹

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2.Beijing Research & Development Center for Grass and Environment, Beijing 100089, China)

Abstract: A pot experiment with seven irrigation treatments, which included fresh water irrigating (F), reclaimed water irrigating (R), equivalent nutrition water irrigating (E), alternative irrigating of fresh water and reclaimed water (T), and irrigations of the different proportion of fresh water and reclaimed water: 1:1 (FR), 1:2 (F2R), 2:1 (2FR), was carried out to study the influences of different irrigation water qualities on the agronomic characters of *Medicago sativa* L. cv. 'Algonquin'. The results showed that, comparing with fresh water irrigating (F), reclaimed water irrigating (R) significantly enhanced the height and lateral branch numbers of alfalfa; Alternative irrigating of fresh water and reclaimed water (T) and mixed water irrigation of two parts of fresh water and one part of reclaimed water (2FR) obviously increased the hay yield of alfalfa; The effects of different irrigation water quantities on the ratio of leaf to stem, the ratio of root to shoot, and the root activity of alfalfa were temporary; Reclaimed water irrigating (R) and mixed water irrigation of fresh water and reclaimed water (FR, F2R, and 2FR) increased the contents of N, Ca, and Mg in alfalfa plant, but did not affect the K content; The P content in alfalfa plant decreased as the P content increased in irrigation water.

Keywords: reclaimed water; alfalfa; growth; nutrition uptake

我国被联合国列为世界上最缺水的13个国家之一。在中国600多座城市之中,有2/3的城市缺水,而且缺水地区已由华北、西北扩展到长江流域、珠江流域等传统上水资源丰富的地区^[1]。如何解决我国水资源的短缺问题逐渐成为一项重要议题^[2]。再生水是污

水、废水经处理后达到一定的水质标准,可以在一定范围内重复使用的非饮用水,其含有丰富的营养物质(如N、P、K、Ca、Mg等元素),同时还含有重金属、溶解性盐类、各种难降解有机物、致病菌、病毒和某些寄生虫卵。因此再生水既含有作物生长所需的营养元素,也包含了很多对作物生长有害的物质,长期灌溉可能会对作物及土壤产生不良的影响^[3-6]。

目前再生水在我国农作物灌溉方面得到了很大发展,开展了不少研究,但在苜蓿灌溉上研究较少。苜蓿是一种优质高植物蛋白饲草,且需水量比较大,

收稿日期:2008-06-10

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100205-01);北京市科委重大项目(D0706007040291-08)

作者简介:王晋兴(1981—),男,山西临汾人,硕士生,主要从事再生水灌溉及植物营养学方面的研究。

通讯作者:李晓娜 E-mail: lxn1977@grass-env.com

但受到我国水资源紧缺的严重制约, 每年产量只占未来需求量的 5%^[7-8]。因此本文以苜蓿为研究对象, 研究了不同灌溉水质对其早期生长及养分吸收的影响, 旨在为北京地区苜蓿的再生水灌溉利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土壤的基本性质

本试验土壤采自北京市农林科学院内试验田。土壤的基本化学性状为全氮 0.09%、全磷 0.088%、全钾 2.4%、有机质含量为 3.36%、碱解氮 195.6 mg·kg⁻¹、速效磷 71.75 mg·kg⁻¹、速效钾 360.6 mg·kg⁻¹、交换性钙 0.66 mg·kg⁻¹、交换性镁 330.3 mg·kg⁻¹。

1.2 供试水源

试验所用再生水为北京市卢沟桥污水处理厂二级处理出水, 清水水源为北京市农林科学院自来水, 水源水质调查如表 1。

1.3 试验设计与实施

本试验设 7 个处理, 分别为清水灌溉(F)、再生水和清水交替灌溉(T)、再生水灌溉(R)、等营养灌溉(E)、再生水清水等量混合灌溉(FR)、再生水与清水 2:1 混合灌溉(F2R)、再生水与清水 1:2 混合灌溉(2FR), 每个处理各设 12 次重复。

试验用规格为 20 cm×20 cm 的塑料盆, 供试草种为紫花苜蓿(*Medicago sativa* L. cv. 'Algonquin')。供试土壤风干后过 5 mm 筛, 每盆装 5 kg 风干土, 加 1 L 清水, 水分全部入渗后播适量苜蓿种子, 苜蓿长出两片真叶时开始间苗, 出苗 40 d 后每盆定苗 10 株并开始进行灌溉处理。灌溉量根据苜蓿生长状况和土壤温度确定, 在开始灌溉处理后每隔 15 d 取样一次, 每次随机取各处理的 3 个重复, 总共取样 4 次。

1.4 测定指标与方法

测定苜蓿株高、侧枝数、叶茎比、根冠比、根系活力、地上和地下部分干重以及氮、磷、钾、钙、镁的含量。样品采用 H₂SO₄·H₂O₂ 湿法消煮, 用微量凯氏法测定氮, 用钒钼黄比色法测定磷, 用火焰原子吸收光谱法测定钾、钙、镁。试验数据用 SAS 统计分析软件进

行处理。

2 结果与分析

2.1 灌溉水质对苜蓿生长的影响

2.1.1 灌溉水质对苜蓿株高和侧枝数的影响

从表 2 可以看出灌溉 15 d 时, 苜蓿各处理株高差异不显著, 可能是由于灌溉时间较短, 土壤中有效养分还没有对苜蓿生长产生明显影响, 但灌溉 30 d 时, 与清水灌溉相比, 其他 6 个处理均能促进苜蓿生长, 尤其是再生水灌溉(E)和交替灌溉(T)的苜蓿株高比较高; 灌溉 45 d 时, 清水灌溉后的苜蓿在株高上也有很大的提高, 但与其他几种灌溉处理相比差异不大; 灌溉 60 d 时, 再生水灌溉(R)和交替灌溉(F)的苜蓿株高明显高于清水灌溉处理后的苜蓿株高且差异显著。纵观 4 次取样, 再生水灌溉对苜蓿株高的影响是一个循序渐进的过程, 随着生长周期的延长, 再生水逐渐体现出营养元素丰富的优势。

表 2 不同灌溉水质对苜蓿株高和侧枝数的影响

Table 2 Effects of irrigation water qualities on height and sidebranch numbers of alfalfa

处理	株高/cm				侧枝数/个·株 ⁻¹			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
F	16.6a	18.9a	23.9a	32.1ab	2.38a	2.83a	2.67a	4.30a
E	16.1a	21.4a	24.8a	30.2b	2.25a	3.07a	3.10a	4.20a
T	15.4a	21.6a	25.9a	34.6a	2.34a	2.97a	3.80a	4.23a
R	15.8a	21.6a	26.1a	35.2a	2.60a	3.57a	3.67a	4.37a
FR	15.8a	21.2a	24.5a	33.0ab	2.37a	3.23a	3.90a	4.33a
F2R	15.3a	20.8a	25.8a	33.4ab	2.42a	3.60a	3.20a	4.17a
2FR	16.6a	19.9a	25.2a	33.1ab	2.38a	3.37a	3.73a	3.83a

注: 不同字母表示差异显著($P<0.05$)。F 为对照。

同时从表 2 中可以看出, 与清水灌溉相比, 其他 6 个处理苜蓿侧枝数都有所增加, 李晓娜等^[9]研究表明在同一灌水水平下, 与清水灌溉相比, 再生水灌溉条件下苜蓿侧枝数有明显增加, 但在该试验时间和灌溉水量条件下, 统计分析结果差异并不显著。

2.1.2 灌溉水质对苜蓿地上和地下部分干重的影响

不同灌溉水质对苜蓿地上和地下部分干重的影

表 1 灌溉水质对比表

Table 1 Water quality of reclaimed water for the experiment

水源	pH	EC/μS·cm ⁻¹	Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹	Ca ²⁺ /mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	N-NO ₃ ⁻ /mg·L ⁻¹	N-NO ₂ ⁻ /m·L ⁻¹	Na ⁺ /mg·L ⁻¹
再生水	7.94	1 448	327.91	1.49	169.00	21.89	21.75	0.03	184.62
清水	7.78	407	4.71	0.03	113.88	4.86	4.71	0.01	7.65

响见表 3。由表 3 可以看出灌溉 15~30 d 时,与清水灌溉相比,其他几种灌溉水质对苜蓿的地上部分干重影响差异并不显著;但在后两次的取样中,各灌溉水质对苜蓿干重的影响逐渐显现出来。尤其第 4 次取样时交替灌溉(T)和混合灌溉(2FR)后苜蓿地上部分干重明显高于其他几种灌溉方式,且差异显著。试验所设计的几种灌溉水质对苜蓿地下部分的干重影响较为复杂,从表 3 中可以看出在不同时期交替灌溉(T)和混合灌溉(2FR)相对于清水灌溉具有明显促进苜蓿根干重的效果,灌溉 60 d 时各处理比清水灌溉后的苜蓿根干重提高了 8.1%和 23%。

表 3 不同灌溉水质对苜蓿地上部和地下部干重的影响

Table 3 Effects of irrigation water qualities on shoot and root dry weights of alfalfa(g·pot ⁻¹)								
处理	地上部干重/g·pot ⁻¹				地下部干重/g·pot ⁻¹			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
F	3.77a	4.43a	5.63abc	6.70bc	1.42c	1.53d	3.57a	4.20ab
E	3.87a	5.20a	6.13ab	7.40abc	1.75abc	2.14ab	3.96a	4.16ab
T	3.63a	4.73a	5.60abc	8.60a	1.89a	2.22a	3.47a	4.54ab
R	4.00a	5.00a	5.30bc	7.20abc	1.69abc	1.76bcd	3.97a	4.08ab
FR	3.77a	4.37a	5.10c	6.63c	1.86ab	2.05abc	3.49a	3.62b
F2R	3.57a	3.93a	5.87abc	6.73bc	1.37c	1.43d	3.67a	4.24ab
2FR	4.13a	4.36a	6.50a	8.50ab	1.45bc	1.69cd	4.06a	5.17a

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。F 为对照。

综上所述,在各灌溉水质处理中交替灌溉(T)和混合灌溉(2FR)对提高苜蓿的干重影响比较显著,比单纯的灌溉再生水更有利于提高苜蓿的干草产量。

2.1.3 灌溉水质对苜蓿叶茎比和根冠比的影响

本试验中的叶茎比是苜蓿叶片的鲜重和苜蓿茎秆鲜重的比值,根冠比为地下部分的干重与地上部分干重的比值。叶片和根是苜蓿生长最重要的两个部分,作物的光合作用、呼吸作用等重要生理生化过程主要在叶片中进行。而根是作物进行养分吸收的主要场所,因此叶茎比和根冠比是衡量苜蓿生长质量好坏的重要指标。本试验中不同的灌溉水质在前两次的取样过程中对苜蓿的叶茎比和根冠比产生了一定的差异,如表 4 所示。再生水灌溉(R)的苜蓿叶茎比明显低于清水灌溉(F),而等营养灌溉(E)和清水灌溉(F)则比较高。在后两次取样时,再生水灌溉(R)后的苜蓿叶茎比提高比较快,处理间差异逐渐不显著。苜蓿的根冠比在第一次取样时有部分差异,但在后期都不存在差异。由此可知各种灌溉水质对苜蓿的叶茎比和根冠比的影响只是暂时性的,随着苜蓿生长期的延

表 4 不同灌溉水质对苜蓿叶茎比和根冠比的影响

Table 4 Effects of irrigation water qualities on l/s and r/t of alfalfa

处理	叶茎比(l/s)				根冠比(r/t)			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
F	0.53a	0.59a	0.48a	0.94a	0.33c	0.35b	0.63a	0.63a
E	0.53ab	0.57ab	0.48a	0.51b	0.45abc	0.42ab	0.64a	0.56a
T	0.46c	0.59a	0.49a	0.87a	0.53a	0.47a	0.61a	0.53a
R	0.38d	0.57ab	0.50a	1.06a	0.43abc	0.37ab	0.75a	0.56a
FR	0.47c	0.53b	0.48a	0.93a	0.49ab	0.47a	0.69a	0.55a
F2R	0.49abc	0.60a	0.53a	0.98a	0.39abc	0.37ab	0.62a	0.63a
2FR	0.48bc	0.58ab	0.52a	0.89a	0.35bc	0.39ab	0.63a	0.62a

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。F 为对照。

长,差异趋于不显著。

2.1.4 灌溉水质对苜蓿根系活力的影响

从表 5 可以看出各种灌溉水质对根系活力的影响也主要表现在灌溉 15 d 时,再生水灌溉(R)的苜蓿根系活力显著低于清水灌溉(F),究其原因可能是再生水灌溉初期其含有的有害物质对苜蓿根系生长产生阻碍。随着生长时间的延长,苜蓿有了一定的适应性,在灌溉 30 d 以后,各灌水水质对根系活力无显著影响,初步说明灌溉水质的不同对苜蓿根系活力的影响只表现在其生长前期。

表 5 不同灌溉水质对苜蓿根系活力的影响

Table 5 Effects of irrigation water qualities on the root activity of alfalfa

处理	根系活力/mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹			
	15 d	30 d	45 d	60 d
F	0.098a	0.088a	0.073a	0.094a
E	0.039cd	0.094a	0.052a	0.079a
T	0.040cd	0.091a	0.063a	0.083a
R	0.031d	0.073a	0.069a	0.075a
FR	0.036d	0.080a	0.057a	0.074a
F2R	0.057b	0.103a	0.081a	0.088a
2FR	0.052bc	0.112a	0.069a	0.089a

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。F 为对照。

2.2 灌溉水质对苜蓿养分吸收的影响

2.2.1 灌溉水质对苜蓿地上部分养分吸收的影响

不同灌溉水质对苜蓿体内氮、磷、钾、钙、镁含量的影响可见表 6 和图 1、图 2。在灌溉 15 d 时,清水灌溉的苜蓿植株体内氮的含量明显高于再生水灌溉和其他几种灌溉水质,但在灌溉 30 d 以后,除清水灌溉(F)外的各灌溉水质都充分发挥了矿质营养元素丰富的作用,植株体内的氮含量也都明显高于同时期清水

表 6 不同灌溉水质对苜蓿地上部分养分吸收的影响

Table 6 Effects of irrigation water qualities
on nutrient uptake of alfalfa shoot

处理	F	E	T	R	FR	F2R	2FR
N/%							
15 d	3.87a	3.50bc	3.51bc	3.54bc	3.49c	3.61bc	3.70ab
30 d	3.92b	4.00b	4.02b	4.09b	4.01b	4.05b	4.37a
45 d	4.08b	4.36a	4.34ab	4.37a	4.39a	4.24a	4.36ab
60 d	4.09b	4.31a	4.34a	4.35a	4.33a	4.30a	4.20ab
P/%							
15 d	0.32a	0.27b	0.31ab	0.31ab	0.30ab	0.30ab	0.33a
30 d	0.45a	0.39b	0.40ab	0.38b	0.40ab	0.41ab	0.41ab
45 d	0.49a	0.50a	0.52a	0.47a	0.50a	0.49a	0.49a
60 d	0.58a	0.50ab	0.51ab	0.51ab	0.55ab	0.49b	0.51ab
K/%							
15 d	4.46ab	4.20b	4.49ab	4.45ab	4.33ab	4.56ab	4.87a
30 d	4.65ab	4.55ab	4.37b	4.58ab	4.56ab	4.65ab	4.75a
45 d	2.89b	3.32a	3.22ab	3.26a	3.26a	3.42a	3.43a
60 d	3.51a	3.39a	3.38a	3.53a	3.65a	3.76a	3.66a
Ca/%							
15 d	1.83b	2.07ab	2.29a	2.09ab	2.10a	2.17a	2.13a
30 d	1.63b	1.62b	1.75ab	1.76ab	1.75ab	1.76ab	1.98a
45 d	1.49a	1.36a	1.57a	1.50a	1.44a	1.76a	1.37a
60 d	1.46ab	1.25b	1.36ab	1.63a	1.47ab	1.46ab	1.49ab
Mg/%							
15 d	0.22b	0.26ab	0.26a	0.24ab	0.25ab	0.27a	0.24ab
30 d	0.40a	0.33b	0.37ab	0.37ab	0.38 a	0.38a	0.36ab
45 d	0.22ab	0.21b	0.24a	0.24ab	0.22ab	0.23ab	0.22ab
60 d	0.24a	0.21b	0.23ab	0.24a	0.23ab	0.24a	0.25a

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。F 为对照。

灌溉(F)的苜蓿。而从图 2 中也可看出,苜蓿在磷的吸收上与氮正好相反,清水灌溉(F)的苜蓿植株体内磷的含量高于其他几种灌溉水质。苜蓿植株体内钾元素的含量在灌溉 15~30 d 中有一定的差异性表现,灌溉处理 45 d 以后各灌溉水质对苜蓿植株体内的钾含量没有显著性影响。与清水灌溉(F)相比,在灌溉 15 d 时混合灌溉(FR、F2R、2FR)和再生水灌溉(R)的苜蓿植株体内钙含量增加了 14.8%、18.6%、16.4%和 14.2%,在灌溉 30 d 之后呈现相同的规律。与清水灌溉(F)相比,各混合灌溉(FR、F2R、2FR)和再生水灌溉(R)的苜蓿植株体内镁的含量在各个时期均没有显著性差异,但略高于清水灌溉。

综上所述,混合灌溉(FR、F2R、2FR)和再生水灌溉(R)有利于促进苜蓿对氮、钙和镁的吸收,而对磷的影响则相反,苜蓿体内钾的含量没有因为灌溉水质的不同而出现差异。

3 结论与讨论

(1)与清水灌溉(F)相比,再生水灌溉(R)可以明显提高苜蓿的株高和侧枝数水平,交替灌溉(T)和混

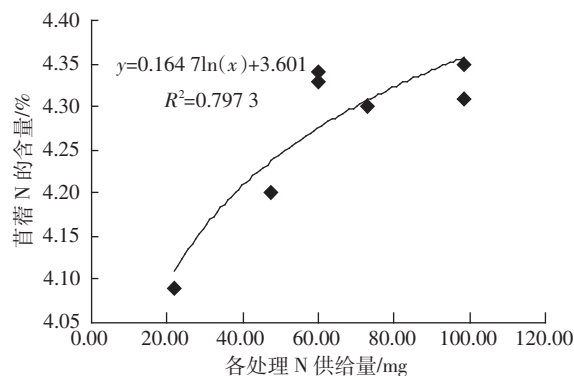


图 1 N 的供给量与苜蓿 N 含量的相关关系

Figure 1 Correlation of N supply quantity and alfalfa N content

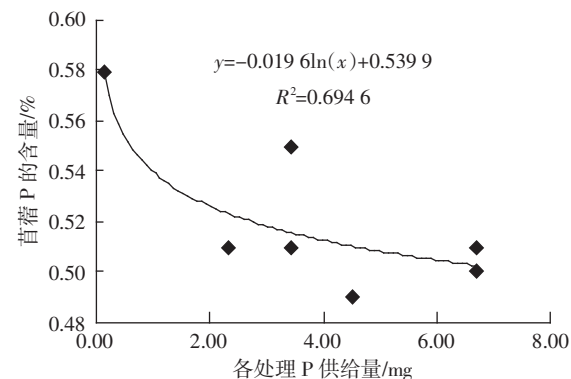


图 2 P 的供给量与苜蓿 P 含量的相关关系

Figure 2 Correlation of P supply quantity and alfalfa P content

合灌溉(2FR)对提高苜蓿干草产量作用明显。

(2)各灌溉水质对苜蓿叶茎比、根冠比和根系活力的影响主要在苜蓿生长前期。

(3)苜蓿养分吸收方面,不同的灌溉水质对苜蓿茎叶中养分含量的影响有所不同,其中混合灌溉(FR、F2R、2FR)和再生水灌溉(R)有利于促进苜蓿茎叶中氮、钙和镁的含量,而对磷的影响则相反,各灌溉水质对苜蓿茎叶中钾的含量没有影响。

用再生水及再生水和清水的混合水源可以在一定程度上替代常规水源作为苜蓿生长的灌溉用水,有效缓解我国水资源短缺的紧张局面。由于水体-土壤-植物是一个相互联系、影响的多相体系,再生水中某些重金属和某些微量元素对作物的影响往往是一个循序渐进的过程,并不能很快的在本试验所设计的条件下表现出来,因此就再生水以及各种灌溉水质对苜蓿的生长及养分吸收的影响还需进一步试验研究。

参考文献:

- [1] 张宏伟. 污水资源化问题分析与对策[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4):74-75.

- ZHANG Hong-wei. Study and countermeasure of wastewater recycling[J]. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2003, 16(4):74-75.
- [2] 孙海. 我国污水资源化战略探讨[J]. 干旱环境监测, 2005, 19(2): 73-75.
- SUN Hai. Discuss on China's wastewater reclamation strategy[J]. *Arid Environmental Monitoring*, 2005, 19(2):73-75.
- [3] 郭道宇, 董志, 宫辉力, 等. 再生水对作物种子萌发, 幼苗生长及抗氧化性系统的影响[J]. 环境科学学报, 2006(8):1337-1342.
- GUO Xiao-yu, DONG Zhi, GONG Hui-li, et al. Effect of reclaimed water on seed germination, growth and antioxidant system in crops[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006(8):1337-1342.
- [4] Hussain G A, K arimulla S. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat[J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 30:175-184.
- [5] Al-Lahham O, Assi N M EI, Fayyad M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit [J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 61:51-62.
- [6] Menon Parameswaran. Urban wastewater use in plant biomass production[J]. *Resource Conservation and Recycline*, 1999(27):39-56.
- [7] 张玉发. 试论苜蓿在我国农业三元种植结构调整中的地位和作用[J]. 草业科学, 1999, 16(2):4-8.
- ZHANG Yu-fa. The role of alfalfa in the structural adjustment of three-component cropping system in Chinese agriculture[J]. *Pratacultural Science*, 1999, 16(2):4-8.
- [8] 张玉发, 王庆锁, 苏加楷, 等. 试论中国苜蓿产业化[J]. 中国草地, 2002, 1(1):64-69.
- ZHANG Yu-fa, WANG Qing-suo, SU Jia-kai, et al. On commercialization of alfalfa in China[J]. *Grassland of China*, 2002, 1(1):64-69.
- [9] 李晓娜, 武菊英, 滕文军, 等. 再生水灌溉对苜蓿生长及养分吸收的影响[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2):199-203.
- LI Xiao-na, WU Ju-ying, TENG Wen-jun, et al. Effects of applying reclaimed water on alfalfa growth and its nutrient up-take[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(2):199-203.

更正

本刊2008年第3期1163至1167页《3种常见海洋贝类对重金属Hg Pb和Cd的积累与释放特征比较》一文中,重金属单位“ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 湿重”均应改为“ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 湿重”。特此更正。

更正

本刊2008年第2期767页《太湖背角无齿蚌中多氯联苯的残留》和2009年第2期411页《太湖五里湖水域背角无齿蚌中汞的残留》两篇文章中的基金项目“中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(6-115043)”应为“中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(6-115007)”。特此更正。