

# 平邑甜茶盆栽土壤中沸石用量对幼苗生长及 $^{15}\text{N}$ -尿素利用的影响

陈倩, 门永阁, 周乐, 魏绍冲, 姜远茂\*

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

**摘要:** 以1年生平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehd.) 盆栽幼苗为试材, 研究盆栽土壤中沸石施用量对幼苗生长及 $^{15}\text{N}$ -尿素利用、损失的影响。结果表明, 植株的株高、总鲜样质量及对 $^{15}\text{N}$ -尿素的利用率在生长前期均以低用量沸石处理 (沸石 0.6 和 1.2 g·kg<sup>-1</sup>) 最高, 但随着生长期的推移, 随沸石用量的增加而逐渐提高, 到生长后期植株的株高、总鲜样质量和 $^{15}\text{N}$ 利用率均以最高用量处理 (沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup>) 最高, 分别为 29.78 cm、29.64 g 和 17.91%, 显著高于对照 (23.28 cm、22.52 g 和 8.81%), 但4个沸石处理间无显著差异。整个生长过程中, 植株地上部从肥料中吸收分配到的 $^{15}\text{N}$ 量对该部分全氮量的贡献率 (Ndff) 高于地下部。在生长前期地上部和地下部的 Ndff 同样以低用量沸石处理 (沸石 0.6 和 1.2 g·kg<sup>-1</sup>) 最高, 而到生长后期二者均以沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup> 处理最高, 分别为 19.04% 和 8.34%, 显著高于对照 (16.27% 和 5.83%)。施用沸石可以减少土壤氮素的损失, 并且沸石用量越高效果越显著。施用沸石后显著促进了植株的生长及对 $^{15}\text{N}$ 的吸收利用, 降低了土壤氮素的损失, 以沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup> 处理效果最佳。

**关键词:** 平邑甜茶; 沸石;  $^{15}\text{N}$ -尿素; 利用; 损失

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 10-1976-08

## Effects of Different Zeolite Amount on the Growth of Potted *Malus hupehensis* Rehd. Seedlings and Utilization of $^{15}\text{N}$ -urea

CHEN Qian, MEN Yong-ge, ZHOU Le, WEI Shao-chong, and JIANG Yuan-mao\*

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** One-year-old potted *Malus hupehensis* Rehd. seedlings and  $^{15}\text{N}$  trace technique were used to explore the effects of zeolite on plant growth and the utilization, loss of  $^{15}\text{N}$ -urea. The main results were as follows: The plant height, total wet weight and utilization of  $^{15}\text{N}$ -urea under the low zeolite levels (zeolite 0.6 and 1.2 g·kg<sup>-1</sup>) were the highest at the early growth stage, and then they were higher with the high zeolite level. At the late stage, the plant height, total wet weight and  $^{15}\text{N}$  utilization ratio were the highest for zeolite 2.4 g·kg<sup>-1</sup> soil, they were 29.78 cm, 29.64 g and 17.91% respectively, which were obviously higher than the control (23.28 cm, 22.52 g and 8.81%), but the difference among 4 zeolite treatments were not significant. Ndff values of shoots were higher than roots for all treatments during the

**收稿日期:** 2013-04-09; **修回日期:** 2013-07-08

**基金项目:** 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-28); 公益性行业 (农业) 科研专项资金项目 (201103003); 山东省农业重大应用创新课题 (201009)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn)

whole stages. At the early stage, Ndff values of both shoots and roots were the highest for the low zeolite level treatments (zeolite 0.6 and  $1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), while at the late stage, the values of zeolite  $2.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  soil were the highest, they were 19.04% and 8.34% respectively, which were obviously higher than the control (16.27% and 5.83%). The loss of nitrogen decreased by using zeolite, and the more zeolite used, the more effective was the result. As a whole, with the application of zeolite, the growth of plant and the utilization of  $^{15}\text{N}$  were significantly increased and the loss of nitrogen decreased, with zeolite  $2.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  soil treatment showing the best.

**Key words:** *Malus hupehensis* Rehd.; zeolite;  $^{15}\text{N}$ -urea; utilization; loss

据统计, 国外苹果园每公顷纯氮施用量为 150 kg 左右, 而中国苹果主产区每公顷纯氮施用量高达 400 ~ 600 kg, 并且呈逐年增加的趋势 (高超 等, 2002; 彭福田和姜远茂, 2006)。氮肥的过量施用不仅会使氮素损失增加, 氮素利用率降低 (易镇邪 等, 2008), 还会导致果实生理性病害加重和污染环境等不良后果 (Weaver, 1993; 范可正, 2001)。目前中国苹果生产中普遍存在果实膨大期脱肥现象, 一方面是因为果园土壤贫瘠, 有机质含量低, 土壤保肥能力较差 (姜远茂 等, 2001), 另一方面是春季一次性施肥后, 大部分氮肥由于挥发、淋溶等损失较严重, 导致果树生长发育后期土壤氮素供应不足。因此, 如何保证生长后期有稳定的氮素供应是保证高产的关键。

沸石是很好的土壤改良剂, 具有离子交换能力 (Ersin et al., 2004), 容易与土壤中阳离子发生交换吸附 (刘广余和李吉进, 1998)。沸石加入到土壤后可以增加土壤孔隙度和透气性 (姜新福 等, 2004), 促进土壤水稳定性团聚体的形成 (霍习良 等, 1991), 同时可以增强土壤对铵离子、磷酸根离子和钾离子的保持能力 (Rabai et al., 2012), 减少氨的挥发 (Ahmed et al., 2010) 和氮肥的淋溶损失 (Majid et al., 2012), 提高养分有效性。在油菜和豇豆等作物上的研究结果表明, 施用沸石可以促进作物生长, 提高作物对养分的吸收利用 (Ebrahim et al., 2011; Hossein et al., 2012)。目前关于沸石在果树上的应用效果研究尚未见报道。因此, 针对沸石在果树上的应用展开研究, 以期能为沸石在苹果生产中的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2011 年在山东农业大学园艺实验站防雨棚内进行。供试土壤为黏质壤土, 有机质  $10.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $76.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $27.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $184.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 7.07。试验采用塑料盆进行盆栽, 盆的规格为内径 15 cm, 高 13 cm, 每盆装干土 2.5 kg。沸石磨碎后过 0.83 mm 筛, 按设计用量施入盆栽土壤。

设不施沸石处理 (对照) 和 4 个沸石用量处理: 0.6、1.2、1.8 和  $2.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。每个处理 9 次重复, 每盆为 1 次重复, 每盆均施  $0.276 \text{ g N}$  (以尿素的形式施入, 其中普通尿素 0.4 g,  $^{15}\text{N}$  - 尿素 0.2 g)、 $0.192 \text{ g P}_2\text{O}_5$  (以磷酸二铵的形式施入)、 $0.216 \text{ g K}_2\text{O}$  (以硫酸钾的形式施入)。 $^{15}\text{N}$  - 尿素丰度为 10.22%, 上海化工研究院生产。

3 月 15 日将层积的平邑甜茶种子播入育苗基质中。5 月 1 日按照处理设置将沸石混入土壤并装入盆中, 选取长势一致、健壮、无病害的 1 年生平邑甜茶幼苗移入盆内, 每盆 5 株, 待生长稳定后于 5 月 21 日进行间苗, 每盆留 3 株, 同时将氮磷钾肥按处理要求溶入等量水中施入土壤。各处理生长条件及栽培管理均保持一致。土壤含水量控制在 20% 左右 (每周测定土壤含水量, 然后补充水分)。

1.2 测定方法

于 7 月 10 日（生长前期）、8 月 10 日（生长中期）及 9 月 10 日（生长后期）进行整株取样，每个处理重复 3 次。测定株高，并将植株解析为地上部（茎和叶）和地下部（根系）两部分，按清水→洗涤剂→清水→1% 盐酸→3 次去离子水顺序冲洗，称其鲜样质量（千分之一天平）后于 105 ℃ 杀青 30 min，80 ℃ 烘干，用不锈钢电磨粉碎，过 0.25 mm 筛后备测。将盆中土壤全部取出，称质量并混合均匀后采用四分法取样，风干后过 0.25 mm 筛后备测。样品全氮采用凯氏定氮法（鲍士旦，2000），<sup>15</sup>N 丰度由中国农业科学院原子能所用 ZHT-03 质谱计（北京分析仪器厂）测定。

Ndff 指植株器官从肥料中吸收分配到的 <sup>15</sup>N 量对该器官全氮量的贡献率，反映了植株器官对肥料 <sup>15</sup>N 的吸收征调能力（顾曼如，1990）。Ndff（%）=（植物样品中 <sup>15</sup>N 丰度 - <sup>15</sup>N 自然丰度）/（肥料中 <sup>15</sup>N 丰度 - <sup>15</sup>N 自然丰度）× 100；

器官全氮量（g）= 器官总干样质量 × 全 N%；

器官 <sup>15</sup>N 吸收量（g）= Ndff × 器官全氮量；

氮肥利用率（%）=（Ndff × 器官全氮量）/施氮量 × 100；

氮肥残留率（%）=（Ndff × 土层含氮量 × 土壤质量）/施氮量 × 100；

氮肥损失率（%）= 100% - 氮肥利用率 - 氮肥残留率。

应用 Microsoft Excel 2003 软件进行图表绘制，应用 DPS 7.05 软件进行数据的统计分析，多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同沸石用量对平邑甜茶生长的影响

由表 1 可知，施用沸石有利于平邑甜茶幼苗的生长，植株的株高、总鲜样质量均高于对照；但不同生长时期，不同沸石用量对植株生长的影响不同。

表 1 不同处理各时期植株的生长量  
Table 1 Mass growth of plant under different treatments in different growth stages

沸石用量/(g·kg <sup>-1</sup> ) Zeolite	生长前期 Early growth stage		生长中期 Medium growth stage		生长后期 Late growth stage	
	株高/cm Plant height	总鲜样质量/g Total wet weight	株高/cm Plant height	总鲜样质量/g Total wet weight	株高/cm Plant height	总鲜样质量/g Total wet weight
0（对照 Control）	11.53 ± 1.30 b	5.19 ± 0.39 c	18.61 ± 1.96 a	19.15 ± 1.38 a	23.28 ± 1.06 b	22.52 ± 1.72 b
0.6	15.67 ± 1.20 a	8.39 ± 0.64 a	22.83 ± 2.06 a	20.39 ± 1.54 a	27.06 ± 1.64 ab	23.06 ± 0.99 ab
1.2	14.33 ± 1.71 ab	7.59 ± 0.61 ab	24.28 ± 2.17 a	21.85 ± 1.49 a	26.72 ± 1.30 ab	26.53 ± 0.20 ab
1.8	13.73 ± 1.16 ab	6.69 ± 0.43 bc	24.62 ± 2.16 a	25.11 ± 1.89 a	27.22 ± 1.93 ab	29.16 ± 3.54 a
2.4	13.37 ± 0.64 ab	5.42 ± 0.39 c	25.39 ± 2.01 a	24.18 ± 1.90 a	29.78 ± 2.66 a	29.64 ± 2.32 a

注：同一列小写字母表示差异达 0.05 水平显著。  
Note: Values followed by different letters in the same row are significantly different at 0.05 level.

生长前期，植株的株高和总鲜样质量均随沸石施用量的增加而逐渐降低，二者均以沸石 0.6 g·kg<sup>-1</sup> 处理最高，分别为 15.67 cm 和 8.39 g，以沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup> 处理最低，分别为 13.37 cm 和 5.42 g，但各处理间无显著差异。生长中期，植株的株高以沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup> 处理最高，为 25.39 cm，其次是沸石 1.8 g·kg<sup>-1</sup> 处理，沸石 0.6 g·kg<sup>-1</sup> 处理最低；总鲜样质量以沸石 1.8 g·kg<sup>-1</sup> 处理最大，为 25.11 g，其次是沸石 2.4 g·kg<sup>-1</sup> 处理，沸石 0.6 g·kg<sup>-1</sup> 处理最低。生长后期，植株株高和总鲜样质量均以最高

沸石用量 (2.4 g · kg<sup>-1</sup>) 处理最高, 分别为 29.78 cm 和 29.64 g, 随着沸石用量的减少, 株高和总鲜样质量均逐渐降低, 各沸石处理间无显著差异。上述结果表明随着生长期的推移, 沸石施用量的增加对植株生长的促进作用更加显著。

2.2 不同沸石用量对平邑甜茶各器官 Ndff 的影响

由表 2 可知, 在整个生长过程中, 不同处理的 Ndff 均表现出一致的规律, 即地上部 > 地下部。可见, 对于当年生的平邑甜茶幼苗, 地上部对于氮素的竞争能力高于地下部; 无论是地上部还是地下部, 施用沸石后各处理的 Ndff 均高于对照。生长前期植株地上部和地下部 Ndff 均以低沸石量处理较高, 到生长中后期各处理植株 Ndff 与生长前期相比均有所降低, 但二者均表现为随着沸石用量的增加而逐渐升高, 以沸石 2.4 g · kg<sup>-1</sup> 处理的值最高, 分别为 19.04% 和 8.34%, 沸石 2.4 g · kg<sup>-1</sup> 和沸石 1.8 g · kg<sup>-1</sup> 处理间无显著差异, 但两者均显著高于其他处理。

表 2 不同处理各时期植株各器官的 Ndff  
Table 2 The Ndff of different organs under different treatments in different growth stages

沸石/ Zeolite (g · kg <sup>-1</sup> )	生长前期 Early growth stage		生长中期 Medium growth stage		生长后期 Late growth stage	
	地上部 Shoots	地下部 Roots	地上部 Shoots	地下部 Roots	地上部 Shoots	地下部 Roots
0 (对照 Control)	28.70 ± 0.05 c	13.62 ± 0.11 c	16.21 ± 0.32 b	8.30 ± 0.07 a	16.27 ± 0.04 b	5.83 ± 0.56 b
0.6	32.83 ± 0.41 a	15.95 ± 0.32 a	16.23 ± 1.28 b	8.53 ± 0.24 a	16.88 ± 0.22 b	6.43 ± 0.12 b
1.2	32.31 ± 0.24 a	16.00 ± 0.23 a	16.44 ± 0.30 b	9.11 ± 0.16 a	17.27 ± 0.18 b	6.66 ± 0.53 b
1.8	32.01 ± 0.55 a	14.89 ± 0.29 b	17.13 ± 0.24 ab	8.78 ± 0.04 a	18.83 ± 0.52 a	8.32 ± 0.52 a
2.4	30.78 ± 0.07 b	14.81 ± 0.07 b	19.16 ± 1.23 a	10.35 ± 1.47 a	19.04 ± 0.65 a	8.34 ± 0.71 a

注：同一列小写字母表示差异达 0.05 水平显著。  
Note: Values followed by different letters in the same row are significantly different at 0.05 level.

2.3 不同沸石用量对植株 <sup>15</sup>N 利用率的影响

由图 1 可见, 各处理植株对 <sup>15</sup>N - 尿素的利用率随生长期的推移均呈现升高的趋势, 而在整个生长过程中各沸石处理的 <sup>15</sup>N 利用率均显著高于对照。但在不同时期, 不同沸石施用量对 <sup>15</sup>N 利用率的影响不同。在生长前期植株对 <sup>15</sup>N - 尿素的利用率表现为随着沸石施用量的增加而逐渐降低; 到生长中后期, 植株对 <sup>15</sup>N - 尿素的利用率则表现为随着沸石施用量的增加而逐渐升高。这说明, 随着时间的推移, 沸石用量多的处理可显著提高植株对 <sup>15</sup>N - 尿素的利用率。

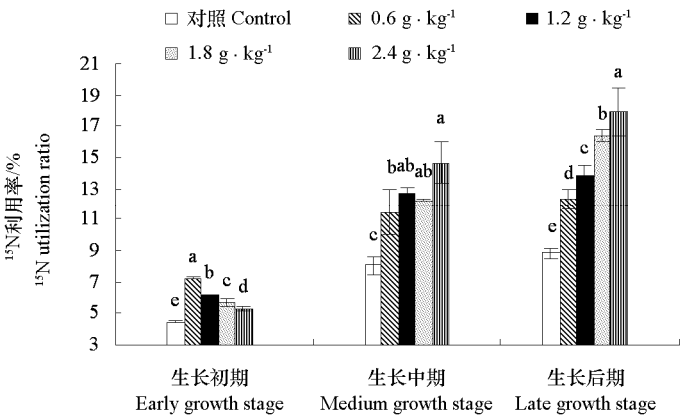


图 1 不同沸石用量各时期的植株 <sup>15</sup>N 利用率  
不同小写字母表示不同处理间差异显著 (P < 0.05)。  
Fig. 1 <sup>15</sup>N utilization ratio under different treatments in different growth stages  
Different small letters mean significant difference at 0.05 levels.

## 2.4 不同沸石用量对土壤 $^{15}\text{N}$ 残留和损失的影响

从表 3 可知,施用沸石后各处理的土壤  $^{15}\text{N}$  残留率均高于对照,并随沸石用量的增加逐渐升高;沸石 1.8、2.4  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理土壤  $^{15}\text{N}$  残留率最高,为 51.12% 和 54.33%。同时,施用沸石后各处理的  $^{15}\text{N}$  损失率均显著低于对照,并随沸石用量的增加而逐渐降低,2.4  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的损失率最低,为 27.76%,仅为对照的 45%。说明施用沸石后能够增加土壤的保肥能力,显著减少氮素的损失,并且沸石用量越高效果越显著。

表 3 不同处理  $^{15}\text{N}$  的残留和损失  
Table 3  $^{15}\text{N}$  residue and loss under different treatments

沸石用量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Zeolite	土壤 $^{15}\text{N}$ 残留量/ ( $\text{mg} \cdot \text{pot}^{-1}$ ) Amount of residue in soil	$^{15}\text{N}$ 残留率/% Residue rate	$^{15}\text{N}$ 总损失量/ ( $\text{mg} \cdot \text{pot}^{-1}$ ) Total amount of loss	$^{15}\text{N}$ 损失率/% Loss rate
0 (对照 Control)	27.21 $\pm$ 0.50 d	29.58 $\pm$ 0.55 d	56.68 $\pm$ 0.15 a	61.61 $\pm$ 0.16 a
0.6	34.92 $\pm$ 0.68 c	37.96 $\pm$ 0.74 c	46.84 $\pm$ 0.27 b	50.91 $\pm$ 0.29 b
1.2	41.04 $\pm$ 0.18 b	44.61 $\pm$ 0.19 b	38.30 $\pm$ 0.43 c	41.63 $\pm$ 0.47 c
1.8	47.03 $\pm$ 2.07 a	51.12 $\pm$ 2.25 a	29.88 $\pm$ 1.88 d	32.47 $\pm$ 2.04 d
2.4	49.99 $\pm$ 0.23 a	54.33 $\pm$ 0.25 a	25.54 $\pm$ 0.56 e	27.76 $\pm$ 0.61 e

注: 同一列小写字母表示差异达 0.05 水平显著。

Note: Values followed by different letters in the same row are significantly different at 0.05 level.

## 3 讨论

本研究表明,生长前期平邑甜茶的株高、总鲜样质量和对  $^{15}\text{N}$ -尿素的利用率均以低沸石用量处理最高,然后随着生育期的推移高沸石用量处理的效果逐渐优于低用量处理。这与前人在玉米上得到的结论(李长洪等,2002)一致,推测是由于沸石的吸附特性,施入土壤后显著减少了氮素的损失(成若琳,1998)。

尿素施入土壤后,在土壤脲酶的作用下迅速水解,其水解产物除了部分被作物吸收外,部分转化为  $\text{NO}_3^-$ ,部分被土壤吸附,其余则以氨的形式挥发。罗一鸣等(2011)在研究沸石对鸡粪高温堆肥氨挥发的影响时发现,沸石主要是通过吸附高温堆肥过程中过量的铵态氮达到减少挥发的效果。关连珠等(1990)的研究也表明,沸石对  $\text{NH}_4^+$  的吸附约相当于一般土壤的 9 倍,所吸附的  $\text{NH}_4^+$  约 60% 为可解吸态。本次试验在夏季进行,加之所用的花盆为塑料花盆,因此土壤温度较高,不仅加快了尿素的水解,也会促进  $\text{NH}_4^+$  向氨的转化(凌莉等,1999),同时还会加快氨从土壤中扩散(蒋朝晖等,2004)。另一方面,尿素水解加快使得土壤 pH 升高,也会加速氨的挥发(杜建军等,2007)。而沸石施入土壤后可以发挥其对铵态氮的吸附特性,有效减少氨的挥发,从而减少氮素的损失。

由于高沸石用量处理对氮素的吸附能力较强,因此在生长前期土壤中供植株吸收利用的氮素较少,从而影响了植株株高和总鲜样质量的增加,此时期低沸石用量处理平邑甜茶幼苗长势较好,但各沸石处理间无显著差异;随着生长期的推进,对照和低沸石用量处理土壤中的氮由于浇水淋失和氨挥发等因素损失较多,并且前期土壤中吸附的氮较少,从而造成了生长后期供氮不足,影响了植株的生长发育,而高沸石用量处理前期吸附的氮较多,一方面减少了损失,另一方面起到了氮肥“缓释”的效果,因此生长后期高沸石用量处理的植株长势好于低沸石用量处理。虽然生长后期高沸石用量植株株高和总鲜样质量比低沸石用量处理高,但是 4 个沸石处理间无显著差异,进一步增加沸石用量后的效果需进一步研究。本次试验的试材为 1 年生平邑甜茶幼苗,对养分的吸收利用能力有限,  $^{15}\text{N}$ -尿素的利用率较低,但仍表现为随着沸石施用量的增加  $^{15}\text{N}$ -尿素的利用率逐渐升高。与周宝库(1998)认为在田间条件下施用天然沸石后,玉米和水稻对氮肥的利用率提高 8.1% ~ 10.3%

的研究结论一致。

本试验利用  $^{15}\text{N}$  示踪结果表明, 生长前期植株对  $^{15}\text{N}$  - 尿素的利用率以低沸石用量处理最高, 随着生长期的推进, 逐渐表现为随着沸石施用量的增加, 植株对  $^{15}\text{N}$  - 尿素的利用率逐渐升高。综合平邑甜茶植株在整个生长过程中的生长情况及对氮素的利用、减少氮素损失的情况来看, 沸石用量  $2.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平邑甜茶植株的生长量、对  $^{15}\text{N}$  - 尿素的利用率均较大, 并且显著减少了氮素的损失。但该用量是否为沸石在平邑甜茶上的最大临界值, 在本试验中并没有得出, 并且该用量在成年树上的应用效果需进一步研究。

## References

- Ahmed O H, Braine Yap C H, Nik Muhamad A M. 2010. Minimizing ammonia loss from urea through mixing with zeolite and acid sulphate soil. *International Journal of the Physical Sciences*, 5 (14): 2198 - 2202.
- Bao Shi-dan. 2000. Analysis of soil agrochemical. 3rd. Beijing: Agriculture Press: 263 - 268. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 第 3 版. 北京: 农业出版社: 263 - 268.
- Cheng Ruo-lin. 1998. The study on employing zeolite as carrier to reduce consumption of nitrogen fertilizer in the soil. *Pratacultural Science*, 15 (1): 70 - 73. (in Chinese)
- 成若琳. 1998. 利用沸石载体减少氮肥在土壤中损耗的研究. *草业科学*, 15 (1): 70 - 73.
- Du Jian-jun, Gou Chun-lin, Cui Ying-de, Qu Dong. 2007. Effects of water retaining agent on ammonia volatilization and nutrient leaching loss from N, P and K fertilizers. *Journal of Agro-Environment Science*, 26 (4): 1296 - 1301. (in Chinese)
- 杜建军, 苟春林, 崔英德, 曲 东. 2007. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响. *农业环境科学学报*, 26 (4): 1296 - 1301.
- Ebrahim Azarpour, Mohammad Karim Motamed, Maral Moraditochae, Hamid Reza Bozorgi. 2011. Effects of zeolite application and nitrogen fertilization on yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *World Applied Sciences Journal*, 14 (5): 687 - 692.
- Ersin P, Mehmet K, Halil D, Naci O. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12: 183 - 189.
- Fan Ke-zheng. 2001. China fertilizer manual. Beijing: China National Chemical Information Center. (in Chinese)
- 范可正. 2001. 中国肥料手册. 北京: 中国化工信息中心.
- Gao Chao, Zhang Tao-lin, Sun Bo, Wu Wei-dong, Lu Ru-kun. 2002. Nitrogen management in Chinese agriculture since early 1980s: Status and problems. *Journal of Nanjing University: Natural Science*, 38 (5): 716 - 721. (in Chinese)
- 高 超, 张桃林, 孙 波, 吴蔚东, 鲁如坤. 2002. 1980 年以来我国农业氮素管理的现状与问题. *南京大学学报: 自然科学版*, 38 (5): 716 - 721.
- Gu Man-ru. 1990. Application of  $^{15}\text{N}$  on the nitrogen nutritional study in apple tree. *China Fruits*, (2): 46 - 48. (in Chinese)
- 顾曼如. 1990.  $^{15}\text{N}$  在苹果氮素研究中的应用. *中国果树*, (2): 46 - 48.
- Guan Lian-zhu, Liang Cheng-hua, Jin Yao-qing, Zhang Ji-hong, Li Huan-zhen, Yu Xiang-dong, Feng Liu-jiang, Lin Su-lan. 1990. Study on capacity of security and supply nitrogen and its mechanism of natural zeolite. *Chinese Journal of Soils Science*, (2): 71 - 75. (in Chinese)
- 关连珠, 梁成华, 金耀青, 张继宏, 李焕珍, 于向东, 冯柳江, 林素兰. 1990. 天然沸石保氮供氮能力及其机制的研究. *土壤通报*, (2): 71 - 75.
- Hossein Zahedi, Hossein Shirani-Rad A, Reza H Tohidi-Moghsdam. 2012. Zeolite and selenium application and their effects on production and physiological attributes of canola cultivars under water stress. *Agrociencia*, 46 (5): 489 - 497.
- Huo Xi-liang, Zhou En-xiang, Jiang Chun, Zhang Jun-mei, Wu Rong-zhen. 1991. A research of zeolite improving the structural property of soils. *Journal of Hebei Agricultural University*, 14 (2): 20 - 23.
- 霍习良, 周恩湘, 姜 淳, 张俊梅, 吴荣臻. 1991. 沸石改良土壤结构性状的研究. *河北农业大学学报*, 14 (2): 20 - 23.
- Jiang Xin-fu, Sun Xiang-yang, Guan Yu-mi. 2004. Research development in the application of natural zeolite in soil improvement and fertilizer production. *Pratacultural Science*, 21 (4): 48 - 51. (in Chinese)
- 姜新福, 孙向阳, 关裕宓. 2004. 天然沸石在土壤改良和肥料生产中的应用研究进展. *草业科学*, 21 (4): 48 - 51.

- Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Zhang Hong-yan, Li Xiao-lin, Zhang Fu-suo. 2001. Status of organic matter and nutrients in Shandong orchard soils. *Chinese Journal of Soil Science*, 32 (4): 167 - 169. (in Chinese)
- 姜远茂, 彭福田, 张宏彦, 李晓林, 张福锁. 2001. 山东省苹果园土壤有机质及养分状况研究. *土壤通报*, 32 (4): 167 - 169.
- Jiang Zhao-hui, Zeng Qing-ru, Fang Zhi, Zhou Xi-hong. 2004. Short-term changes of pH and volatilization of ammonia from urea fertilizer in soil under different temperatures. *Chinese Journal of Soil Science*, 35 (3): 299 - 302. (in Chinese)
- 蒋朝晖, 曾清如, 方 至, 周细红. 2004. 不同温度下施入尿素后土壤短期内 pH 的变化和氨气释放特性. *土壤通报*, 35 (3): 299 - 302.
- Li Chang-hong, Li Hua-xing, Zhang Xin-ming, Liu Yuan-jin. 2002. The study on effect of zeolite on nitrogen use efficiency of corn by  $^{15}\text{N}$ -isotope dilution method. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 16 (4): 237 - 241. (in Chinese)
- 李长洪, 李华兴, 张新明, 刘远金. 2002. 用  $^{15}\text{N}$  同位素稀释法研究沸石对氮肥利用率的影响. *核农学报*, 16 (4): 237 - 241.
- Ling Li, Li Shi-qing, Li Sheng-xiu. 1999. Study on ammonia volatilization from calcareous soil. *Journal of Soil Erosion and Soil Water Conservation*, 5 (6): 119 - 122. (in Chinese)
- 凌 莉, 李世清, 李生秀. 1999. 石灰性土壤氨挥发损失的研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 5 (6): 119 - 122.
- Liu Guang-yu, Li Ji-jin. 1998. Role and application of zeolite in compound fertilizers. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 13 (2): 93 - 97. (in Chinese)
- 刘广余, 李吉进. 1998. 沸石在复混肥中的作用与应用. *华北农学报*, 13 (2): 93 - 97.
- Luo Yi-ming, Wei Zong-qiang, Sun Qin-ping, Li Ji-jin, Zou Guo-yuan, Liu Ben-sheng. 2011. Effects of zeolite addition on ammonia volatilization in chicken manure composting. *Transactions of the CSAE*, 27 (2): 243 - 247. (in Chinese)
- 罗一鸣, 魏宗强, 孙钦平, 李吉进, 邹国元, 刘本生. 2011. 沸石作为添加剂对鸡粪高温堆肥氨挥发的影响. *农业工程学报*, 27 (2): 243 - 247.
- Majid Gholamhoseini, Majid AghaAlikhani, Aria Dolatabadian, Aydin Khodaei-Joghan, Hamed Zakikhani. 2012. Decreasing nitrogen leaching and increasing canola forage yield in a sandy soil by application of natural zeolite. *Agronomy Journal*, 104 (5): 1467 - 1475.
- Peng Fu-tian, Jiang Yuan-mao. 2006. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards. *Scientia Agricultura Sinica*, 39 (2): 361 - 367. (in Chinese)
- 彭福田, 姜远茂. 2006. 不同产量用量苹果园氮磷钾营养特点研究. *中国农业科学*, 39 (2): 361 - 367.
- Rabai K A, Ahmed O H, Kasim S. 2012. Improving formulated nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer using zeolite. *African Journal of Biotechnology*, 11 (65): 12825 - 12829.
- Weaver M A L. 1993. Changing farm practice to meet environmental objectives of nutrient loss to Oyster Harbour. *Fertilizer Research*, 36: 177 - 184.
- Yi Zhen-xie, Wang Pu, Chen Ping-ping, Tu Nai-mei. 2008. Effect of different types of nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization of summer maize (*Zea mays* L.). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 14 (3): 472 - 478. (in Chinese)
- 易镇邪, 王 璞, 陈平平, 屠乃美. 2008. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收和利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 14 (3): 472 - 478.
- Zhou Bao-ku. 1998. Study on natural zeolite applying in agriculture II. The influence of applying zeolite on raising the using rate of chemical fertilizer. *Heilongjiang Agricultural Science*, (2): 5 - 7. (in Chinese)
- 周宝库. 1998. 天然沸石农业应用的研究 II. 施用沸石对提高化肥利用率的影响. *黑龙江农业科学*, (2): 5 - 7.