

# 植物对西北地区农田面源污染影响研究进展

张 蓓

西北农林科技大学风景园林艺术学院, 陕西 咸阳

收稿日期: 2024年5月11日; 录用日期: 2024年6月12日; 发布日期: 2024年7月5日

## 摘 要

近年来, 农业化学品的过量使用增加了农田面源污染的风险, 特别在西北干旱半干旱地区, 这种污染对当地水资源和生态系统造成了严重影响。本文系统梳理了国内外关于农田面源污染控制技术, 着重阐述了植物根系对土壤性质和氮迁移转化的影响, 并提出了建立农田植物根系特征为主的面源污染控制方法的建议。通过开展对农田氮污染控制效果评估, 可有效控制农田径流中氮污染, 为城市生态文明建设和面源污染防控提供重要借鉴。这种基于植物根系的污染控制方法有望在农业生产实践中得到应用, 助力改善农田面源污染问题, 促进生态环境的健康与可持续发展。

## 关键词

农田面源污染, 植物根系, 氮迁移转化, 污染控制

# Research Progress on the Effect of Plants on Farmland Surface Pollution in Northwest China

Bei Zhang

College of Landscape Architecture and Art, Northwest A&F University, Xianyang Shaanxi

Received: May 11<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jun. 12<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 5<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In recent years, the excessive use of agrochemicals has increased the risk of farmland surface source pollution, especially in the arid and semi-arid regions of Northwest China, and such pollution has caused serious impacts on local water resources and ecosystems. In this paper, we systematically sorted out the domestic and international technologies on farmland surface source pollution control, focused on the influence of plant root system on soil properties and nitrogen mi-

gration and transformation, and put forward a proposal to establish a surface source pollution control method dominated by the characteristics of plant root system in farmland. By carrying out the assessment of the effect of controlling nitrogen pollution in farmland, nitrogen pollution in farmland runoff can be effectively controlled, which provides an important reference for the construction of urban ecological civilization and the prevention and control of surface source pollution. This pollution control method based on plant root system is expected to be applied in agricultural production practice, helping to improve the problem of farmland surface source pollution and promote the healthy and sustainable development of ecological environment.

## Keywords

**Farmland Surface Pollution, Plant Root System, Nitrogen Transport Transformation, Pollution Control**

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

过去 30 年, 为追求粮食高产、满足不断增长的人口需求, 我国化肥的使用量增加 2 倍~4 倍, 农业化学品的过量投入增加了农业面源污染的风险[1]。根据中国 2020 年发布的《第二次全国污染源普查公报》显示农业源污染物排放量对水资源污染的贡献率接近 50%, 更是河流氮的主要来源(占 70%) [2]。

目前陕西省大部分农田园区的生态系统存在问题, 主要体现在水资源浪费、农业面源污染控制不力等方面[3] [4]。农作物生产加工、种植栽培过程中从不会停止化肥的使用。同时, 我省在粮食作物生产过程中开始大力推广实施农作物增密度, 例如“5335”集成技术, 以提高农作物产业技术优势[5]。集约化农作物园区中大量未经利用的化肥通过径流、降水和冲刷等汇集到河流里, 直接影响到河流水体的健康, 特别是陕西关中地区河流水系较多, 影响更为明显。由于西北干旱半干旱地区生态环境脆弱, 因此做好西北地区农田面源污染防治至关重要。

农业面源污染具有分散性、广泛性、不确定性和滞后性等特征, 是农业环境保护工作的突出难点[6]。从农田径流污染物排放、迁移、转化过程入手是实现农业面源污染防治的必然途径。近年来, 基于植物和微生物学交叉融合的生态控制技术成为研究热点, 利用植物-土壤-微生物系统作用去除径流污染物已然成为一种新型的径流污染控制技术[7]。在农业面源污染物质大部分随降雨径流进入水体过程前, 通过建立生物(生态)拦截系统, 包括生态拦截沟渠技术、生态护岸边坡技术等, 有效阻断径流水中的氮、磷等污染物进入水环境, 是控制农业面源污染物的重要技术手段[8]-[10]。

在生态拦截过程中, 植物作为最基本生态要素有着极其重要的作用, 可以通过影响土壤特性进而影响渗流过程中的水量水质。目前, 针对植物影响农业面源污染的研究已成为国内外热点, 国外起步较早, 对植物影响面源污染控制研究较为系统, 国内目前的研究与国外还存在较大差距。基于此, 本文通过国内外关于农业面源污染控制技术进行系统梳理, 并重点阐述了植物根系对土壤性质和氮迁移转化的影响的发展方向, 为城市生态文明建设和面源污染防治提供借鉴。

## 2. 农业面源污染控制技术研究

农业面源污染控制技术主要分为工程措施和管理措施两大类。工程措施既包括传统的技术手段, 也

包括新兴的生态工程技术。传统的工程措施主要针对污染物离开农田后的拦截阻断, 包括生态拦截沟渠技术、生态护岸边坡技术等[11]。这些措施通过收集和拦截农田污染物质在离开农田后的流动, 再进行末端强化净化和资源化处理, 例如采用前置库技术、生态塘技术、生态沟渠、人工湿地技术等手段; 另一方面, 管理措施则包括制定农田管理制度、推广生态养殖技术以及实现废物循环利用等措施[12]。总结了典型农业面源污染控制技术中原理及适用条件, 见表 1。

**Table 1.** Principles and applicable conditions of typical farmland surface source pollution control technologies

**表 1.** 典型农田面源污染控制技术原理及适用条件

农田径流污染控制技术	原理	适用条件	
工程措施	生态沟渠	通过水动力调控、植物吸收、物理过滤等多重机制, 拦截和去除农田径流中的污染物, 实现农田与受纳水体之间的生态缓冲。	农田与受纳水体之间有足够空间和水量条件支持植被的生长, 多适用于农田排水量大的水田中。
	植被缓冲带	利用植物根系的固土、吸收以及植被本身的阻滞作用, 拦截农田径流中的泥沙、营养物质等污染物, 保护下游水体。	适用于农田与水体之间的过渡区域, 具有适宜的地形、土壤和水文条件以支持植被的生长, 我国南北方均适用。
	人工湿地	利用物理沉降、化学吸附和生物降解等多重过程, 去除农业径流中的悬浮物、营养物质及有机污染物。	适用于农田与受纳水体之间, 且有足够的土地面积和水资源支持湿地植物生长与污染物处理, 在南方农田径流污染控制中应用较为广泛; 在北方缺乏推广。
	前置库	利用重力沉降作用, 拦截农田径流中的泥沙和颗粒性污染物, 减轻下游湿地或水体的污染负荷。	适用于农田与受纳水体之间, 具备足够的空间和水量, 便于泥沙和污染物的有效沉降和清理, 南方应用较多。
管理措施	施肥优化	在保障作物产量的基础上, 通过精准配方、控制时间和施用方式, 减少农田氮磷流失, 降低对受纳水体的污染负荷。	适用于有较为完善的肥料使用管理体系的农田区域, 且农户配合度较高。
	种植制度优化	通过选择适宜作物、合理轮作, 在减少养分流失的同时, 维护农田土壤肥力与生态平衡, 降低农田径流冲刷下的氮磷流失率。	适用于有灵活性的农业生产模式, 且农户具备较强的环境保护意识与技术接受能力。

生态工程措施是减少农业面源污染的重要途径, 可用于截留和去除农田流失的氮、磷等污染物。这些措施在保护水土、气土交换和生态结构的同时, 通过构建稳定的生态系统, 实现了水质净化和污染物拦截的功能。生态工程措施不仅能有效减少农田污染对环境的影响, 而且相对于传统工程手段, 它们额外占用土地较少、投资较少[13]。因此, 在全国范围内, 生态工程措施已得到广泛应用, 在农业面源污染控制中扮演着重要角色。研究发现, 与传统的混凝土沟渠相比, 生态沟渠显著降低了稻田径流的养分水平, 生态沟渠对总氮(TN)、总磷(TP)的平均去除率为 20%~50%; 同时, 过程拦截技术中生物滞留设施等生态过程措施对径流污染中氨氮及总氮的去除率都可以达到较高的水平(氨氮  $\geq 90\%$ , 总氮  $\geq 70\%$ ) [14]。然而目前, 常用的过程拦截技术主要针对污染物离开农田后的拦截阻断, 而如何利用好农田内部的拦截技术, 即通过农田地增设闲作物种植技术, 以减少农田地表径流量, 减缓农业面源污染有待进一步开展深入研究。

### 3. 植物根系对土壤性质的影响研究

#### 1) 对土壤物理性质的影响

植物的根系在土壤中生长、死亡和腐烂等过程会对土壤结构和物理性质产生影响。其中,根系通过影响土壤颗粒的重排、孔隙的堵塞、大团聚体的开裂(直径  $> 250 \mu\text{m}$ )、微团聚体的融合(直径  $2\sim 250 \mu\text{m}$ )以及大孔隙的生成(直径  $> 30 \mu\text{m}$ )等方式,从而改变土壤的结构。植物在生长过程中通过根系分泌物的作用,可以影响土壤中的微团聚体,进而改变土壤结构,增加大孔隙的数量和孔隙的连通性,促进土壤中的优先流现象[15]。研究发现,某些植物的根系在腐烂后会形成有利于水流下渗的大孔隙,其中粗根系甚至可以使土壤中大孔隙的比例增加 30% [16]。此外,新陈代谢活跃的细根(直径  $< 1 \text{mm}$ )在生长和死亡过程中也是形成土壤大孔隙的重要来源之一,通过对土壤进行穿插、挤压和裂解等作用。不同类型的根系形态对土壤大孔隙的影响程度也有所不同[17]。研究表明,紫花苜蓿这类草本植物的主根系在腐烂后可以形成稳定的大孔隙,从而提高土壤的渗透速率;而小麦这类草本植物的须根系则难以形成稳定的大孔隙,对土壤的渗透速率影响较小[18]。

#### 2) 对土壤化学性质的影响

植物主要通过根系分泌物来影响土壤的化学性质。这些根系分泌物,尤其是酶,可以促进土壤中化学元素的吸收、分解和转化速度,加快物质循环和能量转移,从而促进植物根系的生长,提高矿物质和化学元素的利用效率[8]。土壤中的酶在物质循环和能量转移过程中扮演着重要角色,它是评估土壤肥力水平的重要指标之一,高酶活性不仅可以促进土壤中养分元素的转化速度,还能增加土壤中的生物活性,加速土壤风化和养分循环速度,提高土壤的肥力。研究显示,当植被覆盖度分别为 30%、60%和 92%时,表层土壤的有机质含量分别为 0.46%、1.47%和 1.97%。这表明植物的覆盖度与土壤的有机质含量成正比[19]。此外,植物本身的新陈代谢也可以影响土壤中氮和磷的含量,植被的落叶是导致城市水体富营养化的重要驱动因素之一[20]。

#### 3) 对土壤生物性质的影响

植物的根系为微生物提供了生长和繁殖的场所,土壤中的微生物能够利用植物根系所形成的有氧环境进行新陈代谢。微生物繁殖所需的养分也可以通过植物根部的代谢活动提供。种植不同类型的植物会显著影响土壤中微生物的含量。有研究表明,种植须根系植物(如美人蕉、风车草、象草和香根草)的土壤中微生物含量比种植主根系植物(如菖蒲、芦苇和水烛)的土壤中微生物含量高出 20%至 60% [21]。此外,在土壤的不同层次中,与无植被的土壤相比,种植植物的土壤中脲酶、转化酶和磷酸酶的含量明显较高,且种植草本植物的土壤中酶活性显著高于种植灌木的土壤中的酶活性( $P < 0.05$ ) [22]。

总的来说,植物的根系对土壤的物理性质(如大孔隙和团聚体)、化学性质(如有机质和营养物质)以及生物性质(如功能微生物多样性、群落结构和酶活性)有着显著的影响。然而,目前还很少有研究系统地关注种植在农田内部的植物对土壤物理、化学和生物性质的影响,尤其是对不同农田植物根系组合的影响。

### 4. 植物对渗流过程中氮迁移转化的影响研究

植物对径流氮的迁移转化的影响主要体现在两个方面:1) 植物的复杂根部结构提高了介质层的渗透性能,植物根系在填料/土壤中产生优先通道,使得径流氮可通过优先通道快速下渗迁移;2) 在径流中的氮磷污染物被土壤所吸附后,植物能够以氮磷污染物作为营养物进行代谢,吸收和同化这些污染物;此外,发达的根系会分泌更多的根系分泌物促进根系附近的微生物生长,根际微生物及其分泌的相关酶共同作用影响土壤中氮转化。

植物根系通过改变土壤结构对径流入渗过程存在显著的影响,进而影响径流污染物的向下迁移过程。

研究表明, 优先流动路径的存在加上高降雨强度加快了径流雨水入渗, 观测到流动性较强的  $\text{NO}_3^-$  可迁移至在 1 m 深度的根区下方[23]。王彬俨等[24]模拟分析了大雨入渗条件下径流硝氮运移情况, 研究表明植物根系导致了土壤大孔隙数量的增加, 促进了硝氮的向下迁移, 由根系导致的优先流引起的硝氮量占入渗总量的 97.60%。同时, 由于不同植物的资源获取策略、根际生物量和根系分布方式不同, 不同植物作用下渗流过程中氮迁移存在差异[25] [26]。

植物对径流氮转化过程的影响主要包括植物自身新陈代谢以及植物根际微生物及其分泌的相关酶的共同作用。植物是土壤  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  转化过程中的重要贡献者, Fan 等[27]研究表明, 生物滞留系统中近 50% 的土壤  $\text{NH}_4^+$ -N 通过植物吸收同化和硝化作用被去除, 另有 45% 左右以有机氮或无机氮的形式储存, 仅 1.26% 氮淋失出去。Tadakatsu 和 Akira 等[28]通过追踪植物根系中 15N 标记的硝酸盐和氨, 证明了不同种类的植物通过相类似的方法吸收和同化 N, 但吸收和同化程度存在差异性, 较高生长速率、较宽根系和较大生物量的植物可以吸收土壤中更多的氮。除了植物自身新陈代谢, 通过对不同植物类型下土壤微生物群落变化进行分析, 可以准确揭示植物对典型功能微生物的影响情况以及径流入渗对微生物种群分布的影响。同时, 由于植物的添加, 土壤中各类酶活性均显著高于未种植植物的土壤( $P < 0.05$ ), 但由于不同植物种类所释放的有机物质的差异, 导致了各类酶活性存在显著性差异[29] [30]。

综上所述, 植物根系特征对渗流过程中氮迁移转化具有显著影响。然而, 现有研究很少系统关注不同农田植物根系形态特征及组合方式对农田土壤中氮迁移转化的影响, 而且根系形态特征植物对土壤微生态系统(功能微生物多样性、群落结构、酶活性变化)的影响关系尚不十分清晰。因此, 有必要确立植物根系影响下农田径流渗流过程中氮的变化规律, 这将有助于深入理解农田植物在渗流过程中根系形态与农田径流氮迁移转化之间的关联性, 促进对农田面源污染控制技术的深入研究和发

## 5. 结论

在当前农业面源污染控制技术研究中, 西北地区农田面源污染问题存在较大隐患。现有研究主要集中在污染物离开农田后的拦截阻断, 对农田内部的拦截控制技术研究不够充分。本文系统梳理了国内外关于农田面源污染控制技术, 阐述了植物根系对土壤性质和氮迁移转化的影响, 并提出了建立农田植物根系特征为主的面源污染控制方法的建议。具体结论如下:

1) 有必要加强对农田地增设闲作物种植技术的研究, 以提供源头控制的数据支持。在植物对土壤性质和面源氮迁移转化的影响研究方面, 可以考虑农田内部空闲种植植物对土壤物理、化学和生物性质以及农田土壤中氮迁移转化的影响, 尤其是不同农田植物根系组合对土壤微生态系统的影响;

2) 建立以农田植物根系特征因素为主的农田面源污染控制方法, 并进行对农田氮污染的控制效果评估, 有助于有效控制农田中径流氮造成的污染;

3) 明确西北地区农田植物对农业径流面源污染的影响机制, 并建立利用农田内部空闲植物种植来控制面源污染的方法, 是实现农业面源污染控制的关键手段, 也是确保我国生态文明建设必不可少的环节。

## 基金项目

西北农林科技大学科研启动金项目(Z1090123005);

自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室开放基金(SXDJ2024-23)。

## 参考文献

- [1] Abdel daiem, M.M., Hatata, A., El-Gohary, E.H., Abd-Elhamid, H.F. and Said, N. (2020) Application of an Artificial Neural Network for the Improvement of Agricultural Drainage Water Quality Using a Submerged Biofilter. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5854-5866. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10964-0>

- [2] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业农村部. 第二次全国污染源普查公报[EB/OL]. [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202006/t20200610\\_783547.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202006/t20200610_783547.html), 2020-06-08.
- [3] Arias-Paić, M., Tsuchihashi, R., Gress, A., Miller, D., Papendick, J. and Kennedy, A.M. (2022) Treatment of Selenium-Laden Agricultural Drainage Water Using a Full-Scale Bioreactor. *Journal of Environmental Engineering*, **148**, Article 04022014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001990](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001990)
- [4] Hou, X., Zhou, F., Leip, A., Fu, B., Yang, H., Chen, Y., *et al.* (2016) Spatial Patterns of Nitrogen Runoff from Chinese Paddy Fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **231**, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.001>
- [5] 雷琪. 黄土高原玉米光温生产潜力及种植区适宜性评价[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022.
- [6] Chang, A., Qiong, H. and Zheng, B. (2022) Analysis of Agricultural Non-Point Source Pollution in Henan Province (China) from the Perspective of Time and Space. *Nature Environment and Pollution Technology*, **21**, 268-274. <https://doi.org/10.46488/nept.2022.v21i01.031>
- [7] Ashour, M.A., Aly, T.E. and Hasan, A.E. (2020) New Technique for Preparing and Reusing Agricultural Drainage Water Safely in Irrigation. *Limnological Review*, **20**, 123-133. <https://doi.org/10.2478/limre-2020-0013>
- [8] Carstensen, M.V., Zak, D., van't Veen, S.G.M., Wisniewska, K., Ovesen, N.B., Kronvang, B., *et al.* (2021) Nitrogen Removal and Greenhouse Gas Fluxes from Integrated Buffer Zones Treating Agricultural Drainage Water. *Science of the Total Environment*, **774**, Article 145070. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145070>
- [9] 兰志梅. 氮素对制种苜蓿根系特征、根瘤菌特性和种子产量的影响[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [10] 赵雅姣. 紫花苜蓿/禾本科牧草间作优势及其氮高效机理和土壤微生态效应研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [11] Aviles, D., Wesström, I. and Joel, A. (2020) Effect of Vegetation Removal on Soil Erosion and Bank Stability in Agricultural Drainage Ditches. *Land*, **9**, Article 441. <https://doi.org/10.3390/land9110441>
- [12] Erickson, A.J., Gulliver, J.S. and Weiss, P.T. (2012) Capturing Phosphates with Iron Enhanced Sand Filtration. *Water Research*, **46**, 3032-3042. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.009>
- [13] Li, X., Zhang, W., Wu, J., Li, H., Zhao, T., Zhao, C., *et al.* (2021) Loss of Nitrogen and Phosphorus from Farmland Runoff and the Interception Effect of an Ecological Drainage Ditch in the North China Plain—A Field Study in a Modern Agricultural Park. *Ecological Engineering*, **169**, Article 106310. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106310>
- [14] Jiang, C., Li, J., Li, H. and Li, Y. (2019) Nitrogen Retention and Purification Efficiency from Rainfall Runoff via Retrofitted Bioretention Cells. *Separation and Purification Technology*, **220**, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.036>
- [15] Cui, Z., Huang, Z., Liu, Y., López-Vicente, M. and Wu, G. (2022) Natural Compensation Mechanism of Soil Water Infiltration through Decayed Roots in Semi-Arid Vegetation Species. *Science of the Total Environment*, **819**, Article 151985. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151985>
- [16] Lesturgez, G., Poss, R., Hartmann, C., Bourdon, E., Noble, A. and Ratana-Anupap, S. (2004) Roots of *Stylosanthes Hamata* Create Macropores in the Compact Layer of a Sandy Soil. *Plant and Soil*, **260**, 101-109. <https://doi.org/10.1023/b:plso.0000030184.24866.a>
- [17] Cai, Z., Li, Q., Bai, H., Zhu, C., Tang, G., Zhou, H., *et al.* (2022) Interactive Effects of Aquatic Nitrogen and Plant Biomass on Nitrous Oxide Emission from Constructed Wetlands. *Environmental Research*, **213**, Article 113716. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113716>
- [18] Meek, B.D., Rechel, E.A., Carter, L.M. and DeTar, W.R. (1989) Changes in Infiltration under Alfalfa as Influenced by Time and Wheel Traffic. *Soil Science Society of America Journal*, **53**, 238-241. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300010042x>
- [19] 柴雯, 王根绪, 李元寿, 等. 长江源区不同植被覆盖下土壤水分对降水的响应[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 329-337.
- [20] Janke, B.D., Finlay, J.C. and Hobbie, S.E. (2017) Trees and Streets as Drivers of Urban Stormwater Nutrient Pollution. *Environmental Science & Technology*, **51**, 9569-9579. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02225>
- [21] 陈文音, 陈章和, 何其凡, 等. 两种不同根系类型湿地植物的根系生长[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 450-458.
- [22] Zuo, X., Zhang, H. and Yu, J. (2020) Microbial Diversity for the Improvement of Nitrogen Removal in Stormwater Bioretention Cells with Three Aquatic Plants. *Chemosphere*, **244**, Article 125626. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125626>
- [23] Prado, B., Duwig, C., Etchevers, J., Gaudet, J.P. and Vauclin, M. (2011) Nitrate Fate in a Mexican Andosol: Is It Affected by Preferential Flow? *Agricultural Water Management*, **98**, 1441-1450.

- 
- <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.013>
- [24] 王彬<sup>伊</sup>. 北京昌平区农地土壤优先路径特征及其对硝态氮运移的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [25] Galdos, M.V., Brown, E., Rosolem, C.A., Pires, L.F., Hallett, P.D. and Mooney, S.J. (2020) Brachiaria Species Influence Nitrate Transport in Soil by Modifying Soil Structure with Their Root System. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 5072. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61986-0>
- [26] Zhang, S.X., Zhang, S.H., Zhang, Y., *et al.* (2019) Impacts of Vegetation on Quantity and Quality of Runoff from Green Roofs. *Environmental Science*, **40**, 3618-3625.
- [27] Fan, G., Li, Z., Wang, S., Huang, K. and Luo, J. (2019) Migration and Transformation of Nitrogen in Bioretention System during Rainfall Runoff. *Chemosphere*, **232**, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.177>
- [28] Yoneyama, T. and Suzuki, A. (2019) Exploration of Nitrate-to-Glutamate Assimilation in Non-Photosynthetic Roots of Higher Plants by Studies of <sup>15</sup>N-Tracing, Enzymes Involved, Reductant Supply, and Nitrate Signaling: A Review and Synthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, **136**, 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.011>
- [29] Mehmood, T., Gaurav, G.K., Cheng, L., Klemeš, J.J., Usman, M., Bokhari, A. and Lu, J. (2021) A Review on Plant-Microbial Interactions, Functions, Mechanisms and Emerging Trends in Bioretention System to Improve Multi-Contaminated Stormwater Treatment. *Journal of Environmental Management*, **294**, Article 113108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113108>
- [30] Skorobogatov, A., He, J., Chu, A., Valeo, C. and van Duin, B. (2020) The Impact of Media, Plants and Their Interactions on Bioretention Performance: A Review. *Science of the Total Environment*, **715**, Article 136918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136918>