

刘璐嘉,陈汉新,周明耀,等. 不同水深条件下的青萍除氮效果试验[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):344-348.

不同水深条件下的青萍除氮效果试验

刘璐嘉¹, 陈汉新², 周明耀¹, 钱晓晴³

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 常州市水利局, 江苏常州 213003;

3. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009)

摘要:以长江三角洲地区的浮萍优化种质——青萍为试验材料,研究不同水深条件下青萍的除氮效果与氮素在不同水层中的浓度变化情况。结果表明,随着水深的增加,下层水体处于厌氧状态,厌氧产酸作用使得水体 pH 值随试验时间的增加而降低;水越浅,硝态氮浓度的平均下降速率越快,且去除率越高;总氮浓度与硝态氮浓度的下降规律大致相同。综合试验结果可知,从同一水深处理下各水体不同水层硝态氮、总氮浓度的变化情况看,水体中硝态氮、总氮浓度随着深度的增加均呈现出较稳定的变化趋势。

关键词:青萍;水深;水层;除氮效果;富营养化水体;污染治理

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0344-04

在富营养化污水净化处理中,利用水生植物进行生态修复是一种经济、简便和有效的技术手段^[1-2]。近年来的研究发现,与其他水生植物相比,浮萍具有高氮磷吸收能力、增殖快速、易收获且后续利用价值高等优势,因而受到广泛关注^[3-4]。目前,国内外学者已相继开展了浮萍的相关研究工作,主要集中在适合富营养化水体修复的优势萍种筛选^[5],浮萍净化氮磷污水的机理^[6-7]及途径研究^[8],影响浮萍生长及去除氮磷能力的各项因素研究^[9-14],以及富营养化水体浮萍修复技术的应用研究^[4,15-16]等方面。然而目前开展的大部分浮萍试验研究均是小规模试验,所采用的培养装置大多是容积为 250~1 000 mL 的小容积烧杯,在此生长条件下浮萍所表现的氮磷吸收能力均较强,但是离实际工程应用还有较大的差距。由于浮萍科植物是一类以漂浮为主的水生被子植物,一般多生长在水流平缓或静止的沼泽、河湖水面上,植物体很小,缺少发达的根系,主要通过叶状体或根部吸收水体中的氮磷等营养物质,且因其表面积较小,附着的微生物也相对较少,从而使其净水效果受到了一定程度的限制^[17]。本试验通过研究不同水深条件下浮萍的除氮效果及其作用的水深范围,以期对富营养化水体浮萍修复技术的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为长江三角洲地区广泛分布的浮萍优化种质——青萍,挑选经扩大培养的健康青萍植株体,漂洗后使用。采用人工配制的 Hoagland 完全营养液为试验水体,营养

液中含铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)存在,氮素全部以硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)形式存在,氮浓度为 99.4 mg/L,磷浓度为 15.5 mg/L,氮磷比例为 6.4:1,氮、磷含量与高浓度有机废水相近。

1.2 试验设计

制作直径为 20 cm,高度分别为 15、25、45、85 cm 的圆桶作为培养容器,根据试验要求沿桶壁每隔一定距离设置取水阀,使桶内水深分别达到 10、20、40、80 cm,以分层采集水样,每组水深试样设 3 个重复。根据前期的试验研究结果,每只桶中放养水面覆盖率约为 80% 的青萍,在温室条件下进行培养,水温为 20~25 ℃,水样的 pH 值范围为 6.4~6.7,室内湿度 60%。

在试验开始的第 1 周,每隔 3d 吸取一定量水样测定 pH 值、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、总氮(TN)浓度,之后每隔 7 d 测定 1 次水体的 pH 值、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 浓度,并记录浓度的变化情况,取样后补充对应体积的营养液以维持原体积。水样的采集在静止状态下进行。设定收割周期为 3 d,收割量为 20% 表面积的浮萍生物量。于每天 12:00 记录温室内的气温和光照强度,试验过程中每天用蒸馏水补充培养容器中蒸发的水分,使水样体积维持在原位。

1.3 测定项目及方法

水质分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[18]。试验中测定结果为 3 个平行试验结果的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同水深对浮萍除氮效果的影响

2.1.1 水深对水体 pH 值的影响 适合浮萍生长的水体 pH 值范围较广,一般在 5.0~9.0 之间,而不同品种的浮萍对水体 pH 值的适应性也有所不同。水体深度的改变势必导致水环境 pH 值的变化,从而影响浮萍的生长状况,进而影响浮萍的除氮效果。试验期间不同水深处理下各水体的平均 pH 值变化情况见图 1。由图 1 可以明显看出,水深为 10、20 cm 水体的 pH 值呈现出先下降后上升的趋势,且 pH 值下降的速率随水深的增大而减小;而水深为 40、80 cm 的水体 pH 值则呈现出逐渐下降的趋势;在试验结束时,水深为 10、20、40、

收稿日期:2013-11-01

基金项目:江苏省自然科学基金重点项目(编号:BK2010041);江苏省水利科技项目(编号:2010012)。

作者简介:刘璐嘉(1989—),女,浙江舟山人,硕士研究生,主要从事农业水土环境方面的研究。E-mail:liulujia0516@126.com。

通信作者:周明耀,教授,博士生导师,主要从事农田灌溉排水理论与技术方向的研究。E-mail:myzhouyz@163.com。

80 cm 水体的 pH 值分别为 7.1、6.5、6.0、6.3。结果表明, 10 cm 水深的水体基本上处于好氧状态, 在硝化反应、浮萍吸收氮素及气态氮的挥发等综合作用的影响下, 水体 pH 值在一定时间范围内呈下降趋势^[5]; 随着水深的增大, 水体中溶解氧浓度降低, 从而限制了硝化反应; 对于水深为 40、80 cm 的水体而言, 水深的增大使水体与大气相接触的比表面积相应减小, 且会导致较深水体(40、80 cm)的下层水体处于厌氧状态, 而厌氧产酸作用在一定程度上影响了水体的 pH 值, 使得水体的 pH 值随时间的增加不断下降。

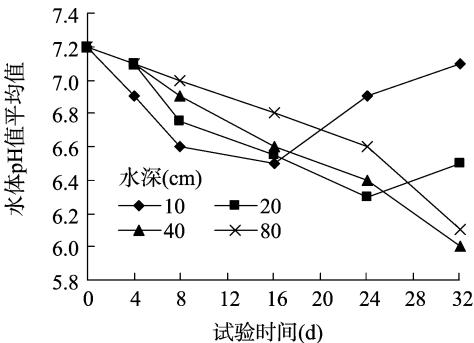


图1 不同水深处理下水体的pH值变化

2.1.2 水深对 NO₃⁻-N 去除效果的影响 不同水深处理下各水体 NO₃⁻-N 平均浓度变化情况见图 2。从图 2 可以看出, 在不同水深水体中, NO₃⁻-N 浓度在试验开始后的 1 周内均出现一个迅速下降的阶段, 但在整个下降的过程中, NO₃⁻-N 浓度下降的速率呈现出逐渐减缓的趋势。试验结果表明, 随着水深的增加, NO₃⁻-N 浓度下降速率明显降低, 可能由于青萍对水体中 NO₃⁻-N 的吸收能力有限, 因而其吸收速率并不会随着污染负荷的加大而增加; 而且, 随着青萍生长进程的加快, 水体与大气相接触的比表面积减小, 使得气态氮的挥发受到一定的抑制。

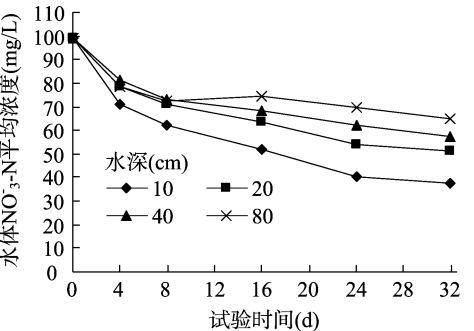


图2 不同水深处理下水体的NO₃⁻-N浓度变化

水体中 NO₃⁻-N 浓度平均下降速率及去除率见表 1。由表 1 可以看出, NO₃⁻-N 浓度的平均下降速率及去除率随水深的减小而升高, 原因是相同污水浓度下, 浮萍系统单位面积所承载的污染负荷与水深呈线性关系, 水深越小的浮萍系统对污染物的去除效果越明显。试验水体 NO₃⁻-N 在浓度高达 99.4 mg/L 的情况下, 青萍植株的生长依然健康, 叶状态饱满, 颜色鲜绿、个体较大, 且未发现病态植株, 表明青萍对高浓度 NO₃⁻-N 水体环境的适应性很强, 因为青萍能够将多余的高浓度 NO₃⁻-N 暂时储存于液泡中, 并不妨碍细胞内的离

表 1 水体中 NO₃⁻-N 浓度的平均下降速率及试验末期的去除率

水深 (cm)	浓度平均下降速率 [mg/(L·d)]	试验末期的 去除率(%)
10	1.937	62.36
20	1.507	48.51
40	1.323	42.58
80	1.075	34.60

子平衡^[5]。

2.1.3 水深对 TN 去除的影响 图 3 为不同水深处理下各水体 TN 平均浓度变化情况。由图 3 可以看出, 试验初期水体的 TN 浓度均随水深的加大呈下降趋势, 且下降速率较快; 在试验后 98 d, 经计算, 水深为 10、20、40、80 cm 水体中的青萍对 TN 的去除率分别达到 36.34%、27.71%、26.23%、20.80%。随着试验时间的推进, TN 浓度总体上稳步下降, 且 TN 浓度的下降速率随着水深的增大而减缓; 在试验后 176 d, 水深为 10 cm 水体中的 TN 浓度出现上升现象, 这可能是由于部分青萍死亡, 导致体内氮素释放而重新进入水体中引起的; 在试验后期, 水深为 10 cm 的水体中的青萍对 TN 的净化效果最好, 经计算, 它们对 TN 的去除率达到 58.33%。

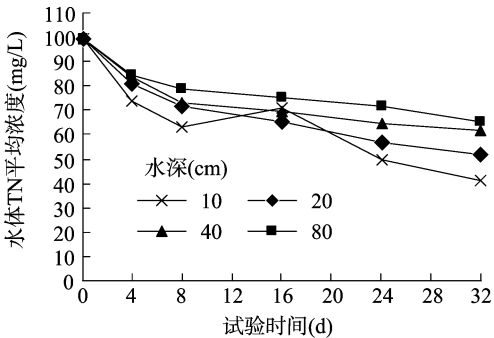


图3 不同水深处理下水体中平均TN浓度的变化

试验期间水体中 TN 浓度的平均下降速率及去除率见表 2。由表 2 可以看出: TN 浓度的下降规律与 NO₃⁻-N 浓度的下降规律大致相同, 即水越浅, TN 浓度的平均下降速率及去除率越高。

表 2 水体中 TN 浓度平均下降速率及试验末期的去除率

水深 (cm)	浓度平均下降速率 [mg/(L·d)]	试验末期的去除率 (%)
10	1.812	58.33
20	1.482	47.72
40	1.167	37.57
80	1.058	34.07

2.2 同一水深条件下不同水层的 pH 值及氮浓度分布情况
2.2.1 不同水层 pH 值的变化情况 图 4 表明, 同一水深处理下, 不同水层 pH 值平均值的变化具有一定的规律性: 从整体趋势上看, 随着深度的增加, 10~80 cm 水深的水体 pH 值大致呈现出逐渐减小的趋势; 水深较浅(10、20 cm)水体的 pH 值随深度减小的速率较缓慢, 但波动较大, 而水深较深(40、80 cm)水体的 pH 值随深度减小的速率则相对较快。出现上述现象的原因主要与水体和大气相接触的比表面积相关, 因

为水深较浅(10、20 cm)的水体基本上处于好氧状态,大气复氧速率相对于水深较深(40、80 cm)的水体快,且随着水体深

度的增加,下层水体基本上处于厌氧状态,厌氧产酸作用使得 pH 值不断减小。

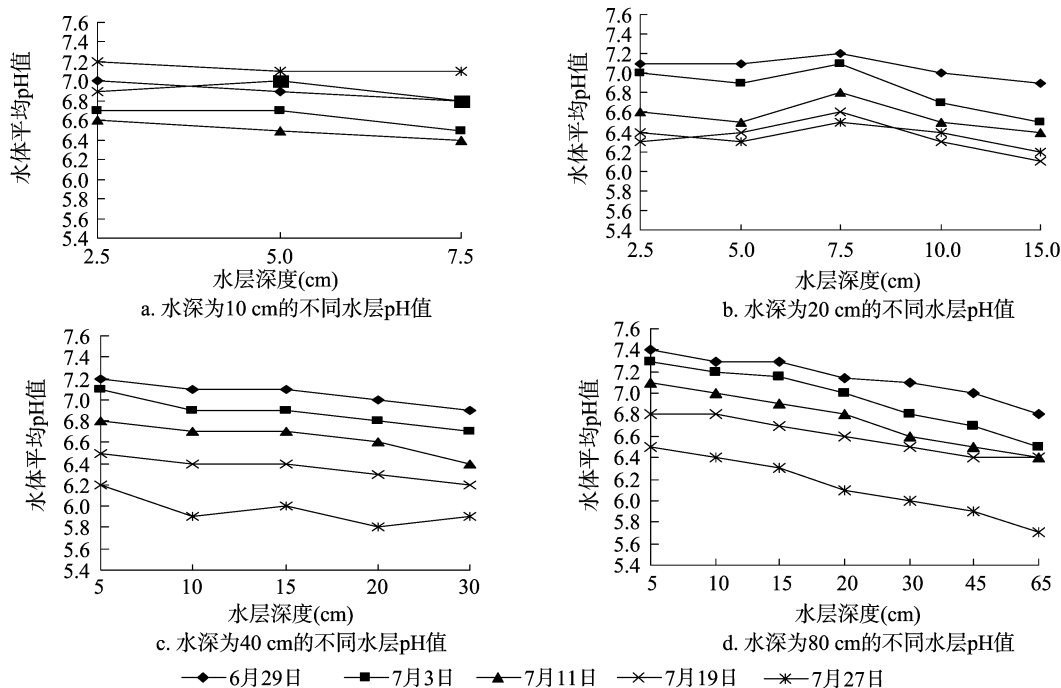


图4 同一水深处理下各水体不同水层的pH值变化

2.2.2 不同水层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度变化情况 同一水深处理下水体不同水层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度变化情况见图5。从整体趋势上看,10~80 cm 深度水体的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度变化随着深度的增加均呈现出较稳定的趋势,伴随着少许的波动;水深较浅(10、20 cm)水体的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度随深度变化的幅度比水深较深(40、80 cm)水体小(图5)。出现上述现象的原因主要是生

长于较浅水体(10、20 cm)的青萍对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的吸收能力相对较强,青萍根系区域的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度下降速率相对较快,下层水体中的 NO_3^- 逐渐扩散至水体表面,且扩散速率随水深的增加而减小,直至为零。当水体内 NO_3^- 浓度保持一致时,青萍对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的吸收能力决定了整个系统的吸收速率。

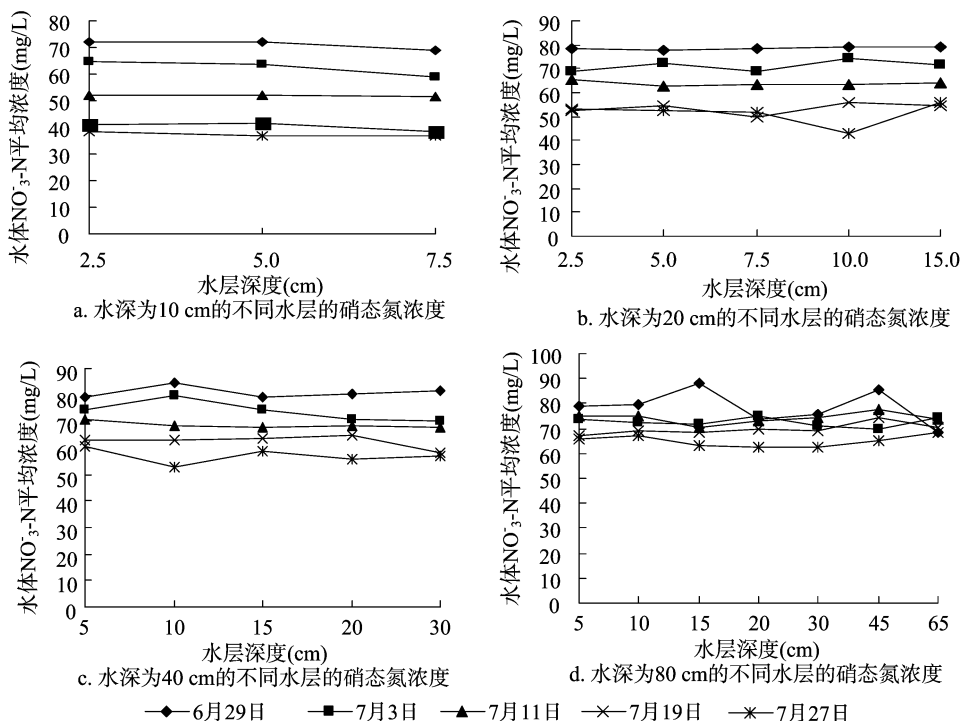


图5 同一水深处理下各水体不同水层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度的变化

2.2.3 不同水层 TN 浓度的变化情况 由图 6 可知:同一水深处理下水体不同水层 TN 浓度的变化规律与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度的变化规律大致相同;10 ~ 80 cm 水深处理下水体的 TN 浓度变化也均随着深度的增加呈现出较稳定的趋势,伴随着少许的波动。水深较深(40、80 cm)水体的 TN 浓度随深度的波动比水深较浅(10、20 cm)水体大,原因可能是生长于较浅水体

(10、20 cm)的青萍根系区域附近的 TN 浓度因根系相对较强的吸收速率而下降,较高的垂直浓度梯度促使下层水体的氮素扩散至水体表面,且扩散速率随水深的增加而减小,直至为零。因此可以看出,水体 TN 浓度的变化将保持一个动态平衡,即当 TN 的垂直浓度差为零时,青萍对 TN 的吸收能力决定了系统的净化速率。

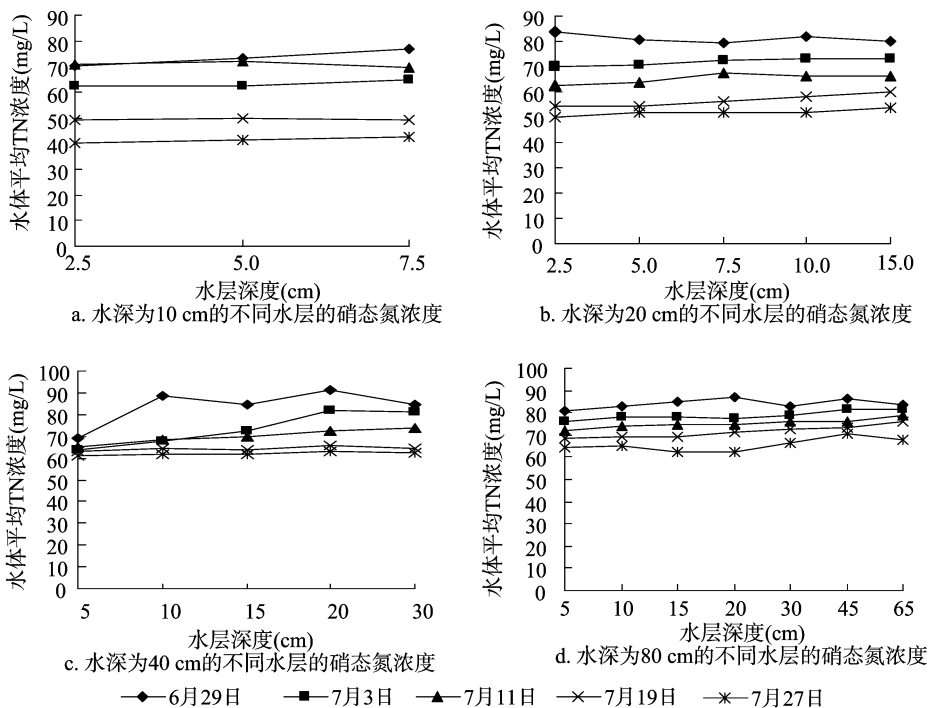


图6 某一水深处理下各水体不同水层TN浓度变化

3 结论

水深的增大会使水体与大气接触的面积相对减少,从而使得溶解氧浓度降低,导致下层水体处于厌氧状态,在产酸细菌的作用下,水体的 pH 值降低,当 pH 值降低到一定程度时会影响浮萍的生长,从而限制浮萍对氮素的吸收,降低了对氮素的去除效果。因此,对于水深较大的水体,可以考虑对其进行搅拌以缓解厌氧反应,使水体 pH 值基本处于适合浮萍生长的范围。

当污水浓度和水体表面积一定时,如果浮萍生长密度相同,单位面积的浮萍所承载的污染负荷与水深呈线性关系。从 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 的去除效果看,单位面积的浮萍系统所承载的污染负荷随水深的减小而降低,使得 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 浓度的平均下降速率及去除率相应升高。因此,建议可采用浅水浮萍系统(水深在 20 cm 左右)处理小体积富营养化污水。

从某一水深处理下各水体不同水层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 浓度的变化情况看,水体中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 浓度随着深度的增加均呈现出较稳定的趋势,伴随着一定的波动。由于浓度梯度的存在,使下层水体的氮素扩散至水体表面,扩散速率随着水深的增加而减小直至水体中氮素浓度基本保持一致。当氮素的垂直浓度差为零时,青萍对氮素的吸收能力决定了整个系统的净化能力。在实际工程应用中,建议采用深水浮萍系统(水深大于 40 cm)处理大体积氮磷污水,可考虑增加一些必要措施如搅拌、曝气等来加速氮素的扩散作用,从而提高浮萍对氮

素的吸收速率。

参考文献:

- [1] Dalu J M, Ndamba J. Duckweed based wastewater stabilization ponds for wastewater treatment (a low cost technology for small urban areas in Zimbabwe) [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2003, 28 (20/27): 1147 - 1160.
- [2] Ran N, Agami M, Oron G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel [J]. Water Research, 2004, 38 (9): 2240 - 2247.
- [3] Bergmann B A, Cheng J, Classen J, et al. In vitro selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation [J]. Bioresource Technology, 2000, 73 (1): 13 - 20.
- [4] Bonomo L, Pastorelli G, Zamboni N. Advantages and limitations of duckweed - based wastewater treatment systems [J]. Water Science and Technology, 1997, 35 (5): 239 - 246.
- [5] 沈根祥. 利用浮萍净化氮磷污水机理及其优化工艺条件研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [6] Cheng J, Landesman L, Bergmann B A, et al. Nutrient removal from swine lagoon liquid by *Lemna minor* 8627 [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45 (4): 1003 - 1010.
- [7] Cheng J Y, Bergmann B A, Classen J J, et al. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata* [J]. Bioresource Technology, 2002, 81 (1): 81 - 85.
- [8] 沈根祥, 徐介乐, 胡双庆, 等. 浅水体浮萍污水净化系统的除氮途

韩润燕,陈彦云.宁夏荒漠草原区固定沙丘微地形单元与地上植被的关系[J].江苏农业科学,2014,42(9):348-350.

宁夏荒漠草原区固定沙丘微地形单元与地上植被的关系

韩润燕¹,陈彦云^{1,2}

(1.宁夏大学西部生态与生物资源开发联合研究中心/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,宁夏银川 750021;

2.宁夏大学生命科学学院,宁夏银川 750021)

摘要:采用野外调查结合室内分析的方法对盐池荒漠草原区固定沙丘不同微地形单元(顶坡、上部边坡、中部边坡、下部边坡、底坡)的地上植被进行调查,研究微地形对地上植被的种类、数量、覆盖度、分盖度、频度及地上生物量的影响。结果表明,植被的种类、数量、覆盖度、分盖度、频度及地上生物量几乎都呈现出底坡>下部边坡>中部边坡>上部边坡>顶坡,反映了微地形单元间存在明显的小生境差异。

关键词:荒漠草原区;固定沙丘;微地形;地上植被

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0348-03

植物和环境之间存在一定的相互关系,这是植物群落的本质特征之一^[1]。在区域至全球尺度上,地带性气候条件是决定植物种、生活型或植被类型分布的主导因素^[2-3],而在同一气候区,地形通过地貌过程,对植被产生直接作用^[4-6],地形的高低起伏是影响植被格局的重要因子之一^[7-8],这种地形的变化控制了资源因子的空间再分配^[9-10]。因此,地形是为植物群落提供生境多样性的重要环境梯度之一,植被格局与地形格局密切相关^[11]。微地形一般指小尺度的地形变化,Kikuchi^[12]和 Nagamatsu 等^[13]将丘陵地区微地形分为顶坡、上部边坡、谷头凹地、下部边坡、麓坡、泛滥性阶地和谷床 7 个单元,根据盐池沙丘的地形特征,本研究中微地形主要划分为 5 个等级,即顶坡(CS)、上部边坡(US)、中部边坡(MS)、下部边坡(LS)和底坡(BS)5 个单元。由于地形的差异而使光照、土壤水分、养分及风沙堆积情况等局部范围内产生微小的变化,从而导致地上植被类型、特征和地上生物量的不同,地上生物量是生态系统获取能量能力的主要体现,对于生态系统结构的形成具有十分重要的影响^[14-15]。草地生态系统是

陆地生态系统中不可或缺的一部分,但其比较脆弱,尤其在降雨量少,蒸发量大的宁夏荒漠草原区,干旱已成为该地区的基本特征,目前对盐池荒漠草原地上生物量的研究文献较多,但有关沙丘微地形对地上生物量影响的研究较少,因此本试验主要从微地形着手,对盐池荒漠草原地上生物量进行研究,分析微小的自然环境变化对该地区草地生态系统的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地区位于宁夏东部盐池县花马池镇,北纬 37°04′~38°10′、东经 106°30′~107°47′,属于毛乌素沙地西南缘,年平均气温 7.7℃,绝对最高气温 38.1℃,绝对最低气温 -29.6℃,≥10℃的年积温 3 430.3℃,年日照时数 2 867.9 h;年降水量 289.4 mm,年蒸发量 2 131.8 mm,年无霜期 162 d 左右,天然草地面积 5.57×10⁵ hm²。盐池县主要为剥蚀的准平原地形,全县地势南高北低,海拔为 1 295~1 951 m,南北明显分为黄土丘陵和鄂尔多斯缓坡丘陵两大地貌单元,固定沙丘是盐池荒漠草原区常见的微地形地貌。

1.2 试验方法及数据分析

1.2.1 试验方法 在盐池荒漠草原区选取两个不同地方的固定沙丘按照其地形特点将其划分为五个微地形单元,即顶坡、上部边坡、中部边坡、下部边坡、底坡,按照不同的划分等级,7 月份在固定沙丘的每个微地形单元处划分一个 20 m ×

收稿日期:2013-11-22

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAC07B03)。

作者简介:韩润燕(1989—),女,宁夏中卫人,硕士研究生,主要从事植物生态学研究。E-mail:hanrunyan@163.com。

通信作者:陈彦云,研究员。E-mail:nxchenyy@163.com。

径[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):42-47.

[9] Caicedo J R, van der Steen N P, Arce O, et al. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) [J]. Water Research, 2000, 34(15): 3829-3835.

[10] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 无机氮化合物及 pH 值对紫背浮萍生长的影响[J]. 中国环境科学, 2003, 23(4): 417-421.

[11] 种云霄, 胡洪营, 钱易. pH 及无机氮化合物对小浮萍生长的影响[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 35-40.

[12] 沈根祥, 胡宏, 沈东升, 等. 浮萍净化氮磷污水生长条件研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 284-287.

[13] 蔡树美, 单玉华, 钱晓晴. 不同光温条件下紫背浮萍叶肉细胞和叶绿体超微结构的研究[J]. 植物研究, 2012, 32(3): 279-283.

[14] 蔡树美, 张震, 辛静, 等. 光温条件和 pH 对浮萍生长及磷吸收的影响[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6): 63-66, 75.

[15] 种云霄, 胡洪营, 崔理华, 等. 浮萍植物在污水处理中的应用研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(3): 14-18.

[16] 侯文华, 宋关玲, 汪群慧. 浮萍在水体污染治理中的应用[J]. 环境科学研究, 2004, 17(z1): 70-73.

[17] Körner S, Lyatuu G B, Vermaat J E. The influence of *Lemna gibba* L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater [J]. Water Research, 1998, 32(10): 3092-3098.

[18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 254-274.