

# 干旱条件下施用鸭粪对芦苇湿地系统氮积累的影响

张鹤丹, 刘超, 谢建治

(河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071001)

**摘要:**在干旱条件下的白洋淀芦苇湿地上覆盖不同质量的鸭粪, 研究分析了在全年的季节变化中湿地不同土层及芦苇中氮的动态变化, 以期核算出芦苇湿地土壤及植物的氮积累量, 为白洋淀地区控制鸭养殖提供依据。结果表明: 各处理土壤全氮含量均表现为随着土层深度的增加而降低, 但是 20~40 cm、40~60 cm 土层中全氮含量相差不大; 对于不同层次而言, 0~20 cm 土层中各处理土壤全氮含量的季节变化均表现为先上升后下降再上升的趋势, 7 月份土壤全氮含量明显增加, 覆盖 9、12、15 kg/m<sup>2</sup> 鸭粪处理(3、4、5 区)与对照、覆盖 3、6 kg/m<sup>2</sup> 鸭粪处理(1、2 区)呈显著差异( $P < 0.05$ ); 20~40 cm、40~60 cm 土层中的全氮含量均表现为 4~8 月明显下降, 8 月以后略有回升的季节变化趋势, 从各处理降低幅度来看, 鸭粪对 20~40 cm、40~60 cm 土壤中全氮含量几乎无影响, 在最高处理下核算出白洋淀湿地土壤的氮储量为  $1.89 \times 10^4$  t, 年可容纳鸭数量上限为  $5.83 \times 10^8$  只; 不同鸭粪量处理下, 芦苇的生物量和株高差异不大, 在 10 月份收割的前提下, 1 hm<sup>2</sup> 芦苇氮积累量为 53.88~67.35 kg。

**关键词:**鸭粪施用; 氮含量; 生物量; 氮积累

**中图分类号:**X 703 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0182-05

近年来, 白洋淀水质有转好趋势, 但由于人们对水环境要求的逐渐提高, 其现状仍不能满足对水质的要求。据资料显示<sup>[1-3]</sup>, 白洋淀水污染的各种污染因子中氮素的权重最大。通过调查发现, 白洋淀沿湖的安新、任丘、雄县、容城、高阳 5 县市的畜禽养殖业十分发达, 养鸭作为白洋淀的传统产业, 是周边近百万人的重要经济收入来源。其大量的粪便排泄物不经任何处理直接排放到淀中, 对水体造成严重的污染, 随着时间的积累, 淀内淤泥越来越多, 对水质的影响也愈来愈重。

我国对白洋淀湿地中有关沉积物的氮素分布虽已有研究<sup>[4]</sup>, 但主要集中在已形成沉积物的基础上。现以白洋淀部分淀区为对象, 在不同鸭粪量覆盖的基础上对湿地中以及芦苇中氮素的动态含量变化及分布特征进行研究, 并对白洋淀湿地系统的环境容量进行了估算, 以为白洋淀鸭养殖废弃物减排、芦苇种植与面源污染防控提供科学依据。

**第一作者简介:**张鹤丹(1987-), 女, 河北承德人, 硕士研究生, 研究方向为土壤污染治理及城乡环境治理规划。E-mail: mozhou5201@sina.com.

**责任作者:**谢建治(1969-), 男, 安徽安庆人, 教授, 博士生导师, 现主要从事环境规划及环境污染与防治技术等研究工作。E-mail: xjianzhi@126.com.

**基金项目:**国家水专项子课题资助项目(2008ZX07209-007-05, 2008ZX07209-008-05)。

**收稿日期:**2013-05-20

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

白洋淀湿地位于河北省中部, 隶属于保定市的安新、容城、雄县、高阳和沧州市的任丘 5 县(市), 汇集了唐河、漕河等 9 条河流, 通过赵王新河泄入独流减河和海河干流入海, 总面积 366 km<sup>2</sup>, 淀区被 39 个村落、3 700 条沟壕、8 000 hm<sup>2</sup> 芦苇分割成大小不等、形状各异的 143 个淀泊。近年来由于干旱缺水, 淀区内蓄水量迅速减少, 湖淀面积大量减少, 而周边鸭养殖数量不降反升, 给水生态环境带来严重威胁。

### 1.2 试验材料

白洋淀地区芦苇在 4 月上旬发芽, 5 月初展叶, 4 月上旬至 7 月下旬处于生长期, 7 月下旬至 8 月上旬处于孕穗期, 8 月上旬到下旬处于抽穗期, 8 月下旬至 9 月上旬处于开花期, 种子在 10 月上旬成熟, 10 月底以后落叶。该研究共取样 5 次, 根据生长期分别在 2011 年 4 月、7 月、8 月、9 月孕穗期至种子成熟期(10 月 21 号), 在 18 个小区内分别取 0~20、20~40、40~60 cm 深处土壤, 每个小区内从不同位置随机选取 4 个采样点, 进行土样采集, 将所采集的土样混合置于塑封袋中, 编号、贴好标签运回室内, 在阴凉通风处风干, 剔除砾石、木屑及贝壳、杂草、芦苇根系等动植物残体后, 将自然风干的土壤碾磨, 运用四分法去除多余的部分, 然后在研钵上研磨, 经过 100 目筛子筛滤后, 采用半微量凯氏蒸馏定氮法测定总氮含量。

### 1.3 试验方法

试验地点选在白洋淀具有代表性养殖的圈头乡大田庄村芦苇湿地,于2011年4月在芦苇湿地中用PVC板围取1 m×1 m的小区18个,PVC板高出地面4 cm,设5个处理,分别为1、2、3、4、5区,1个对照,每个处理3次重复,根据现场芦苇的密度,每个小区定芦苇数量约30株,各个处理之间隔开50 cm的距离,将鸭粪平铺在所选区域内,5个处理依次添加鸭粪的量为3、6、9、12、15 kg,鸭粪的全氮含量为1.5%,即各个处理区鸭粪氮含量依次为45、90、135、180、225 g/m<sup>2</sup>。

### 1.4 项目测定

在8、10月份各采样1次,每个小区分别选择最高、最矮、长势最好以及最差的4株芦苇,将植株洗净风干1 d后,在105℃下杀青0.5 h,80℃烘干至恒重,测定干物质质量,烘干粉碎后采用硫酸-双氧水消煮,凯氏蒸馏定氮法测定全氮含量,并在10月份测定样方内的全部植株株高。

土壤中氮储量按下式<sup>[6]</sup>计算:

$$T = \sum_{i=1}^n D_i \times B_i \times TN_i \quad (1)$$

式中, $T$ 为单位面积一定深度内( $j$ 到 $n$ 层)某一元素的储量(g/m<sup>2</sup>); $D_i$ 为土层的厚度(cm); $B_i$ 为土壤容重(g/m<sup>3</sup>); $TN_i$ 为土壤氮含量(g/kg); $i$ 为土层数。植物样中氮积累量为氮含量与其生物量的乘积。

### 1.5 数据分析

所有数据均取平均值,用Microsoft Excel 2003软件对数据进行处理及绘图,并采用SPSS 17.0软件进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同鸭粪量处理对土壤氮含量的影响

**2.1.1 各土层全氮含量季节变化规律** 从图1-a可以看出,随着季节变化,土壤中全氮含量呈先上升后下降随后又回升的变化趋势。7月份3区、4区、5区土壤中全氮含量明显增加,分别较对照增加22.69%、23.93%、29.45%,而且与对照、1区、2区处理差异显著( $P < 0.05$ );8月份全氮含量降低,原因为自然土壤中的氮主要来自植物的枯枝落叶和动物尸体,也有少量来自于大气和生物固氮。白洋淀地区降雨主要集中在6~8月份,7月份温度高,充足的雨热条件使微生物活动旺盛,促进有机质的矿化分解,同时施入的鸭粪及凋落物的分解,亦会带来养分的累积,使氮素含量增加,而且所选试验用地属于芦苇生长茂盛的陆地区,表面无土覆水,2011年降水较少,所以在有限的雨热条件下,施入较多的鸭粪,土壤有机氮含量明显增加,同时由于较多鸭粪全部覆盖在土壤上,阻碍了土壤与大气的交换作用,使全氮含量在表层出现累积峰。8月份植物生长旺盛,并且8月上旬植物进入孕穗期,需要吸收较多的养分来满足其生长需

要,所以全氮含量出现降低。进入9月份温度降低,植物趋于成熟,对氮素的吸收能力减弱,全氮含量再次出现了上升的趋势,但幅度较低,因为经过3个月的吸收与释放,随着植株的生长,植物体内吸收的氮素,会随着植株的成熟而有一定程度的释放,但释放幅度较小,所以其全氮含量低于7月份土壤中全氮含量。经过1 a的处理后,各处理表层土壤全氮分别增加了5.62%、3.14%、12.74%、2.25%、12.11%、13.36%。从图1-b和图1-c可以看出,20~40、40~60 cm深度土层中的全氮含量均表现为4~8月出现明显下降趋势,其中20~40 cm各区分别降低了38.47%、43.26%、27.49%、39.53%、33.79%和33.75%,40~60 cm各区分别降低了40.62%、48.69%、37.13%、44.14%、29.15%和36.84%,8月以后略显回升,这是因为4~8月芦苇处于快速增长期,需要根系从土壤中吸收大量的营养元素,研究表明,

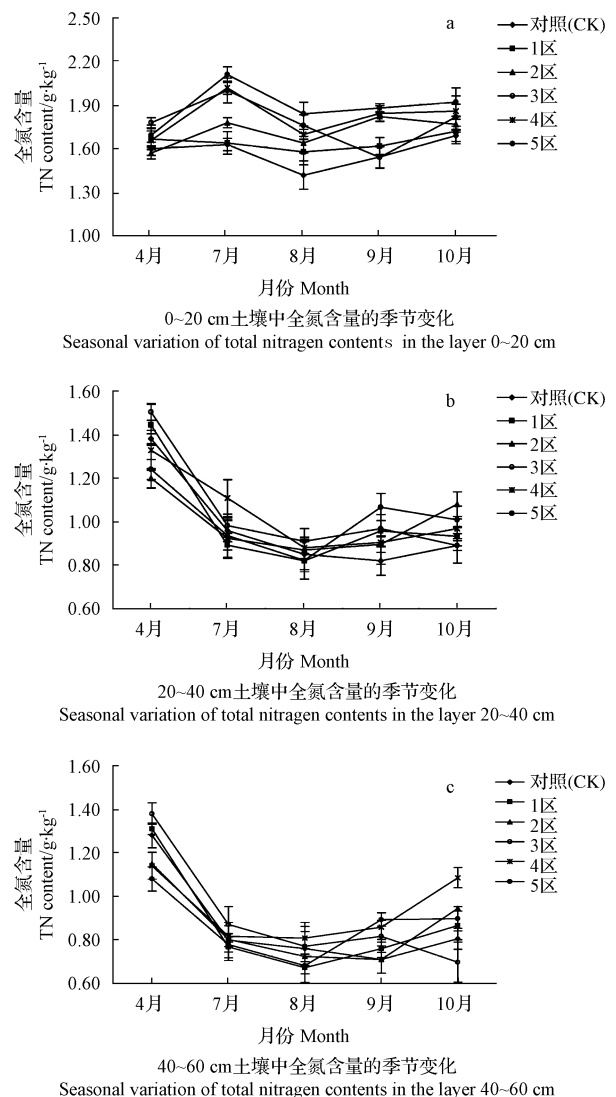


图1 各土层全氮含量的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of total nitrogen contents in different soil layers

芦苇的根系生物量分布在 0~100 cm 深的土层中,其中芦苇 77.30% 的根系分布在 0~60 cm 的土层中<sup>[7]</sup>,但是从各区降低幅度来看,各处理之间并没有表现出明显的梯度变化,说明鸭粪对 20~40 cm,40~60 cm 土壤中全氮含量的影响很小。律琳琳<sup>[8]</sup>在模拟人工湿地下芦苇对鸭粪废水进行室内研究发现,灌溉鸭粪废水对芦苇湿地土壤全氮含量产生的影响主要作用在 0~20 cm 土层,对 20~40 cm 土层的影响较小。由图 1 可以得出,土壤全氮含量均表现为从表层随着深度的增加逐渐减小的趋势,但是 20~40 cm、40~60 cm 土层中全氮含量相差较小,4 月份以后 20~40 cm 土层中全氮含量集中在 0.82~1.11 g/kg,40~60 cm 土层集中在 0.67~1.09 g/kg。李博<sup>[9]</sup>对白洋淀湿地土壤的研究表明,表层土(0~10 cm)与中、下层土全氮含量差距明显,中层(10~30 cm)、下层(30~60 cm)土的全氮含量最大值出现在 4 月,最小值出现在 10 月,该研究与其结果不尽相同。

2.1.2 芦苇湿地土壤氮积累量核算 土壤氮储量的一个重要指标为氮密度,其高低程度直接反映了该区域土壤氮储量的大小。湿地土壤氮储量受植物生长和水位波动的影响显著,在植物生长停滞和微生物活性减弱后的 10 月份研究土壤氮储量更具有代表性<sup>[10]</sup>。由于施入鸭粪量最大的 5 区土壤表层中的全氮含量最高,因此以其为标准进行氮储量核算。按照上述氮储量计算方程式得出 10 月份不同土壤层次氮含量见表 1。由表 1 可知,0~60 cm 土壤中全氮的平均储量为 315.30 g/m<sup>2</sup>,以目前白洋淀芦苇湿地面积约 6 000 hm<sup>2</sup><sup>[11]</sup>计算,在氮含量最高处理下白洋淀的氮储量为 1.89×10<sup>4</sup> t。按每只蛋鸭每年产鸭粪量 21.6 kg<sup>[12]</sup>计算,白洋淀整个淀区内年可承担养鸭数量为 5.83×10<sup>8</sup> 只。

表 1 10 月份土壤不同层次的氮含量

Table 1 Nitrogen content in different soil layers from both reed wetlands in October

土层 Soil layer	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
氮储量 Nitrogen stocks/g·m <sup>-2</sup>	453.12	256.09	236.70

## 2.2 湿地植物氮含量分析

2.2.1 各处理下芦苇的株高和生物量变化情况 在 2011 年试验中,6 个区芦苇均生长良好,未出现死苗现象,白洋淀地区芦苇的种子成熟期在 10 月上旬,据有关白洋淀芦苇的研究结果<sup>[10]</sup>,芦苇地上部分生物量积累量的最大值出现在 10 月。因此该试验于 2011 年 10 月 21 日采集各试验区中芦苇,测量芦苇的株高和生物量。从表 2 可以看出,不同鸭粪量添加处理下,植株生物量差异不甚明显,但 1 区和 5 区生物量显著高于其它区域( $P<0.05$ ),总体趋势并未表现出随着施入鸭粪量的增加芦苇生物量无限升高的趋势。各处理中芦苇的株高差异不显著,说明施入的鸭粪量不影响芦苇的生长特性,而且

鸭粪的大量施入也未对芦苇产生毒性作用,这可能是因所选区域无水,施入的鸭粪中的营养物质为植物有效利用的较少。张承烈等<sup>[13]</sup>在研究甘肃河西走廊芦苇时也发现生境中水分亏缺是限制芦苇生长的主要环境因素。杨卓<sup>[14]</sup>研究也表明充足但不过量的水分条件是芦苇生长良好的前提。

表 2 芦苇的生物量和株高

Table 2 The biomass and height of reed

区组 Groups	生物量 Biomass/g	株高 Height/cm
对照(CK)	1 320±208 b	347±11 a
1 区 First zone	1 495±102 a	354±13 a
2 区 Second zone	1 320±247 b	359±18 a
3 区 Third zone	1 380±119 ab	361±12 a
4 区 Fourth zone	1 335±30 ab	342±10 a
5 区 Fifth zone	1 615±31 a	350±14 a

注:同一列中不同字母表示不同处理间差异显著。

Note: Data with different letters in the same column were significantly different between different treatments ( $P<0.05$ ).

2.2.2 芦苇中全氮含量分析 芦苇于 8 月上旬进入抽穗期,8 月下旬至 9 月上旬为开花期,种子成熟期在 10 月上旬,落叶期 10 月底以后。由图 2 可知,在 8 月初和 10 月下旬的监测中,植物样中全氮含量均显著高于对照组中全氮含量( $P<0.05$ ),但各处理之间并没有表现为随着施入鸭粪量的增加植物样中全氮含量升高的趋势,反而施入的鸭粪最多的处理,植物中的氮含量相对最少,即 3 区处理之后植物样中的全氮含量有随着施入鸭粪量的增加出现降低趋势,这可能是因所选区域属于芦苇生长茂盛的陆地区,表面无覆盖水,鸭粪废弃物中有机氮含量较高,主要集中在表层土壤中,而且只有在有机氮矿化的情况下才能为植物吸收利用。Williams 等<sup>[15]</sup>认为高浓度的土壤全磷能抑制植物对氮的吸收,鸭粪量较多的处理中土壤全磷含量相对较高,也可能因为原始土样中 3 区土壤中全氮含量最高。从时间上看,10 月芦苇中全氮含量显著低于 8 月,这是因为 4 月芦苇萌芽后一直处于快速生长阶段,初期芦苇生物量相对较小,芦苇叶片氮含量较高,而在生长旺季(6、7 月),随着叶片持续生长和生物量不断积累,其含量逐渐被稀释而降低<sup>[16]</sup>,随后(8、9 月)叶片不再生长并保持相

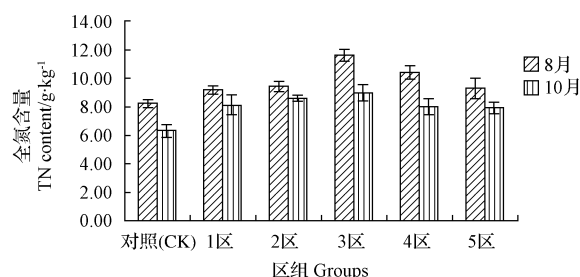


图 2 8 月与 10 月芦苇中全氮含量变化

Fig. 2 The total nitrogen content of reed in August and October

对稳定,含量又有不同程度升高,而在10月份叶片衰老期受营养元素回流的影响含量再次下降<sup>[17]</sup>,而茎由于其生物量一直处于增长趋势,体积不断膨胀所以其中氮含量则呈现逐渐下降的趋势<sup>[18]</sup>。

2.2.3 芦苇中氮积累量研究 氮素是湿地芦苇生长发育不可缺少的重要营养元素,是湿地生态系统生产力的重要限制因子。氮元素既是植物生命的必需营养元素,又是水体富营养化的主要来源。在植物生长旺盛期吸收土壤中的氮元素,生长后期,随着枯落物及植株本身营养元素回流使得氮元素又回到土壤中。白洋淀地区收割芦苇在11月份,但是结合相关研究结果和芦苇湿地系统的生态服务功能和经济效益的最大化得出结论,10月份为芦苇的适宜收割期<sup>[9]</sup>。该研究采用10月份芦苇植株中的氮含量研究白洋淀芦苇的氮积累量,在白洋淀地区,芦苇的地上生物量很大,芦苇地上部分干物质量可达6 000~7 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>,由于3区处理中的氮含量最高,所以以3区处理中植株的氮计算,氮含量与其生物量的乘积即为氮积累量,结果为1 hm<sup>2</sup>湿地芦苇氮积累量为53.88~67.35 kg。

### 3 结论与讨论

湿地中氮素的空间分布一定程度上反映了湿地环境变化的进程。氮素是湿地富营养化的主要污染因子,又是湿地的重要组成部分,也是湿地生态系统中主要的生态因子,其含量对湿地生态系统功能的发挥起着重要作用。土壤中的全氮超过95%为有机氮<sup>[20]</sup>,动植物残体以及生物固氮作用是自然湿地中的氮素的主要来源,此外也有少量来源于降水和人为污染,而氮的输出则主要为沉积物中有机氮的分解,分解后的氮素大部分被植物、微生物吸收利用,部分经过矿化、硝化、反硝化作用以及氨挥发等过程重返大气<sup>[21]</sup>。

在该研究中白洋淀湿地土壤中氮素伴随芦苇生长季节变化而变化。对于表层0~20 cm,4~7月为芦苇生长期,此时,芦苇需要吸收大量的氮素,由于充足的雨热条件使得微生物活动较强,促进了有机质的矿化分解,同时施入的鸭粪及凋落物的分解,都会带来养分的累积,使氮素含量增加,所以7月份表现为全氮含量升高;7~8月植物生长处于旺盛期,需要吸收更多的养分来满足其生长需求,因此土壤中氮素出现降低的趋势;对于20~40 cm、40~60 cm土壤,在芦苇吸收和补充不利双重作用下,全氮含量随时间的推移而逐渐降低。总体来看,鸭粪施入使得表层土壤中全氮含量明显升高,对20~40 cm、40~60 cm土层中全氮含量无明显影响。

由于该研究只集中在芦苇生长期施用鸭粪对湿地土壤中氮积累的影响,而在芦苇收割后,虽然随着季节的变化,温度降低,但土壤表层依然与鸭粪存在某些作用,尤其是春季冰雪融化之初,残留的氮素随着融水的淋溶而向下迁移,对其不同土层氮含量的变化,该试验

会继续跟踪。

植物的生长过程实际上就是各种营养元素积累的过程,尤其是氮、磷元素。氮、磷是植物生长所必需的营养元素。研究表明,芦苇生长初期(4~5月份)叶片生物量氮、磷含量较高,6~7月份随着生物量剧增而迅速下降,8~9月份由于叶片生长放缓,含量又逐渐增加,此后随着叶片衰老受营养元素回流的影响又逐渐下降,而茎氮、磷含量在整个生长季节均呈现逐渐下降的过程<sup>[22]</sup>。该研究分别在植物生长旺盛的8月和植物生长基本停止的10月下旬取样,植物样中的氮并没有随着施入鸭粪量的增加而出现急剧增加的趋势,但是在3区处理氮含量相对最高。

芦苇生长主要受水、土、温度、盐碱等几个因子影响,其中最重要的影响因素则为土壤<sup>[23]</sup>。在不同量鸭粪施用条件下,鸭粪只对表层土壤有显著影响,而对中、下层土壤的影响甚微。芦苇主要靠根系吸收土壤中氮,由于芦苇主根不发达,根状茎多集中于20~40 cm深的土层<sup>[24]</sup>,因此,表层土壤以下为芦苇生长主要营养元素供给区,表层土壤对芦苇生长的贡献值较低,芦苇中总氮含量不因表层土壤总氮含量差异而有所变化,这恰好与中、下土层氮含量减少相吻合。

尽管植物对氮的净化能力小于土壤吸附氮的能力和土壤微生物的硝化和反硝化作用,但植物生长是无限的,能源源不断地从湿地系统中吸收同化氮素,因此,不能低估湿地植物对环境中氮污染物的净化效果。芦苇的生物量很大,其在生长过程中需要大量的氮、磷等营养物质,随着芦苇被运移出湿地系统,大量的营养物质也随之从湿地系统中输出。张洪刚<sup>[25]</sup>研究表明,10月中下旬植物处于生长后期,这时候收割植物会最大限度地去除系统中的氮、磷,因为这样避免了成熟的植物由于种子的掉落以及营养元素从茎叶又传输到根部等原因,致使营养元素的回流导致去除率降低。因此,确定10月为芦苇的最佳收割时间。

该研究结果表明,不同鸭粪添加量处理条件下,土壤全氮含量均表现为从表层随着深度的增加逐渐减小的趋势,但20~40 cm、40~60 cm土层中全氮含量相差甚小。0~20 cm土层中,随着季节的变化,土壤全氮含量呈上升趋势,7月份3、4、5区土壤中全氮含量明显增加,分别较对照增加22.69%、23.93%和29.45%,与对照、1、2区有显著差异( $P<0.05$ ),经过1 a处理后,各区表层(0~20 cm)土壤全氮含量分别增加了5.62%、3.14%、12.74%、2.25%、12.11%和13.36%。20~40 cm、40~60 cm土层中全氮含量均表现为4~8月明显下降趋势,其中20~40 cm各区分别降低了38.47%、43.26%、27.49%、39.53%、33.79%和33.75%,40~60 cm各区分别降低了40.62%、48.69%、37.13%、44.14%、29.15%和36.84%,8月以后略有回升,从各区

降低幅度来看,鸭粪对 20~40 cm、40~60 cm 土壤中全氮含量几乎无影响。在最高处理下,核算出白洋淀的氮储量为  $1.89 \times 10^4$  t,淀区内可承担鸭数量为  $5.83 \times 10^8$  只。不同鸭粪添加量处理下,芦苇的生物量和株高差异不大,在 10 月份为芦苇的收割期前提下,1 hm<sup>2</sup> 芦苇湿地氮积累量为 53.88~67.35 kg。

### 参考文献

- [1] 郝艳娟,赵振良,吴新民,等.模糊数学模型在白洋淀水质综合评价中的应用[J].河北渔业,2012(5):5-9.
- [2] 张婷,刘静玲,王雪梅.白洋淀水质时空变化及影响因子与分析[J].环境科学学报,2010,30(20):261-267.
- [3] 李经纬,杨路华,梁宝成,等.改进的主成分分析法在白洋淀水质评价中的应用[J].海河水利,2007(6):40-43.
- [4] 万晓红,周怀东,刘玲花.白洋淀湖泊湿地中氮素分布的初步研究[J].水土保持学报,2008,22(2):166-169.
- [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [6] 仝川,贾瑞霞,王维奇,等.闽江口潮汐盐沼湿地土壤碳氮磷的空间变化[J].地理研究,2010,29(7):1203-1213.
- [7] 刘芳.芦苇湿地对污水中氮、磷的净化能力研究[D].保定:河北农业大学,2004.
- [8] 律琳琳.白洋淀芦苇对鸭养殖废水的处理效果研究[D].保定:河北农业大学,2010.
- [9] 李博.白洋淀湿地典型植被芦苇生长特性与生态服务功能研究[D].保定:河北大学,2010.
- [10] 白军红,王庆改,丁秋祎,等.不同芦苇沼泽湿地土壤全氮季节动态变化和氮储量研究(简报)[J].草业学报,2008,17(2):162-165.
- [11] 李建国,李贵宝,刘芳,等.白洋淀芦苇资源及其生态功能与利用[J].南水北调与水利科技,2004,2(5):37-39.
- [12] 刘嘉莉,胡晓波,田在锋,等.丁酸钠对肉鸭生长及粪便中污染物减排效果的影响[J].生态与农村环境学报,2011,27(1):39-43.

- [13] 张承烈,周瑞莲,陈国仓.芦苇耐脱水能力的生理生态学分析[J].植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):311-316.
- [14] 杨卓.白洋淀底泥现状评价及在芦苇生境下演变机理研究[D].保定:河北农业大学,2006.
- [15] Williams B L,Buttler A G. The fate of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> added to sphagnum magellanicum carpets at five European mire sites[J]. Biogeochemistry,1999,45:73-93.
- [16] 闫芊,陆健健,何文珊.崇明东滩湿地高等植被演替特征[J].应用生态学报,2007,18(5):1097-1101.
- [17] Lin Y M,Sternberg L. Nitrogen and phosphorus dynamics and nutrient resorption of rhizophora mangle leaves in south Florida,USA [J]. Bulletin of Marine Science,2007,80(1):159-169.
- [18] 吴统贵,吴明,虞木奎,等.杭州湾滨海湿地芦苇生物量及 N、P 储量动态变化[J]. 中国环境科学,2010,30(10):1408-1412.
- [19] 蒋高明,黄银晓,林舜华,等.海河流域不同植物磷含量、地域分异性及其输入、输出量研究[J]. 环境科学学报,1993,13(2):244-249.
- [20] 白军红,王庆改,丁秋祎,等.不同芦苇沼泽湿地土壤全氮季节动态变化和氮储量研究(简报)[J]. 草业学报,2008,17(2):162-165.
- [21] Watts L J,Rippeth T P,Edwards A. The roles of hydrographic and biogeochemical processes in the distribution of dissolved inorganic nutrients in a cottish Sealoch; Consequences for the spring phytoplankton bloom [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science,1998,46:39-50.
- [22] 吴统贵,吴明,虞木奎,等.杭州湾滨海湿地芦苇生物量及 N、P 储量动态变化[J]. 中国环境科学,2010,30(10):1408-1412.
- [23] 陈晨,徐延飞,王金爽.浅谈土壤对芦苇生长发育的影响[J]. 现代农业,2010(5):55.
- [24] 苏芳莉,张潇予,郭成久.地下水埋深与芦苇生长的响应机制研究[J]. 灌溉排水学报,2010,29(6):129-132.
- [25] 张洪刚.人工湿地及湿地植物对生活污水净化效果的研究[D].北京:首都师范大学,2006.

## Effect of Duck Manure Application on Nitrogen Accumulation in the Reed Wetland System under the Conditions of Drought

ZHANG He-dan, LIU Chao, XIE Jian-zhi

(College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001)

**Abstract:** Dynamic changes of nitrogen in different soil layers of reeds were discussed with seasonal variation in a year with Baiyangdian reeds wetland covered by duck mature of different quality under the condition of drought, and the nitrogen accumulation of the wetland was obtained to provide the basis for the control of duck breeding number in the final. The results showed that the total nitrogen(TN) content of all the treatments were decreased gradually with soil depth increasing, but it had no significant difference in the two lower layers; for different layers, TN content increased firstly and then decreased and increased again in the 0~20 cm layer, and TN content in soil significantly increased in July, the treatments covered by duck mature of 9, 12, 15 kg/m<sup>2</sup> were higher significantly ( $P < 0.05$ ) compared with the control, and the other two treatments, respectively. The TN content in the lower layers showed a clear downward trend from April to August, then it increased slightly. The application of duck mature had little influence on TN content in the two lower layers. According to the growth pattern, it was evaluated that the wetland could reserve  $1.89 \times 10^4$  t in the form of nitrogen and  $5.83 \times 10^8$  in the form of duck at most. It had little difference between the reed biomass and height of all treatments, and the nitrogen accumulation could achieve 53.88~67.35 kg/hm<sup>2</sup> just as harvesting reeds at October.

**Key words:** duck mature application; nitrogen content; biomass; nitrogen accumulation