

# Material Circulation in the Process of Repairing Desertified Soil by Coated Rice

Durong Bai, Yan Yan, Ankhbayar Sukhbat, Lei Liang\*

College of Environment, Liaoning University, Shenyang Liaoning  
Email: \*syllshenyang@163.com

Received: Jun. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 27<sup>th</sup>, 2019; published: Jul. 4<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In order to restore the sandy soil, double-film mulching technique is applied to the cultivation of desert rice. The un-restored sandy soil and the paddy soil planted by this technique were selected from 2014 to 2018 as the research object by comparing nutrient bridging in paddy soil, grassland and desert. The variation in soil nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and organic matter (SOM) contents in sand and paddy soils of Horqin Naiman Qi were studied. Results showed that paddy soil N, P, K and SOM contents increased with the increase of this technology application years. Compared to un-restored sandy soil, the content of soil total N in the paddy soil planted by double-film mulching technique increased by 230%; total P content increased by 750%; total K content increased by 100%; SOM content increased by 146%. Overall, double-film mulching technique can improve the sandy paddy soil, restore the sandy land and provide the essential nutrients to the next generation of desert rice.

## Keywords

Rice Planting in Desertified Soil, Soil Restoration, Nutrient Bridge, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Organic Matter

# 覆膜水稻修复荒漠化土壤过程中的物质循环

白都荣, 闫岩, 安迪, 梁雷\*

辽宁大学环境学院, 辽宁 沈阳  
Email: \*syllshenyang@163.com

收稿日期: 2019年6月7日; 录用日期: 2019年6月27日; 发布日期: 2019年7月4日

## 摘要

为了对沙化的土壤进行修复, 采用双膜覆盖技术进行水稻种植, 并选择自2014年以来采用该技术种植\*通讯作者。

的水稻土作为研究对象,对比了水稻土、草地与荒漠的氮素循环,研究了科尔沁奈曼旗沙地和稻田的氮、磷、钾、有机质含量。结果表明,水稻土中氮、磷、钾、有机质含量皆随着水稻种植年数的增加而增加。至2018年,与未修复的沙化土壤相比,采用双膜覆盖技术种植的水稻土中,总氮增加了230%,总磷增加了750%,总钾增加了100%,有机质增加了146%。总的来说,双膜覆盖技术的应用可以修复沙化土壤,逐步将土壤养分增加到正常土壤水平。沙漠化土壤得到恢复,并为日后植物的生长提供所需营养。

## 关键词

荒漠化土壤水稻种植, 土壤修复, 氮素循环, 氮, 磷, 钾, 有机质

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

长期以来,由于土壤资源的过度开发利用、缺乏有效管理等因素,使得土壤退化问题十分严重,根据第五次全国荒漠化和沙化检测结果显示,我国荒漠化的土地面积达  $2.61 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占我国国土面积的 27.1% [1]。

土地荒漠化是指由于气候变化和人类不合理的生产和生活活动导致干旱、半干旱和干燥半湿润地区的土地发生退化的现象[2],它是目前世界上最重要的环境问题之一[3],荒漠化将破坏土地资源及生态环境,对生物多样性造成了极大的威胁,对农民的生产活动造成了极大困难[4]。

本研究通过膜技术的应用,在荒漠化土壤上实现水稻的种植,既能遏制荒漠化扩散,修复荒漠化土壤,又增加了耕地面积,提高农民收入。待荒漠化土壤的营养水平修复至普通草原土壤的营养水平后,将稻田退田还草,并开辟新的荒漠化土地作为覆膜水稻田,按计划有序的进行荒漠化土壤的修复。本文将已进行4年水稻种植试验的荒漠土壤与未进行水稻种植的荒漠土壤进行对比分析,模拟物质循环过程,得出荒漠化土壤的修复速率,为将来扩大种植修复面积、规划修复计划提供理论帮助。

## 2. 双膜覆盖技术

双膜覆盖技术是指将沙地表面平整后,在沙层下 80 cm 深处铺设衬膜,以减少水的渗漏;为防止表面蒸发,使用厚度为 5~7  $\mu\text{m}$  的塑料薄膜覆盖表面,并且在整个生长期不形成水层,在分蘖中期之前,保持根层土壤基本饱和,之后维持根成土壤在不饱和状态。与传统的沙漠绿化相比,双膜覆盖技术具有快速绿化、有效减少地表水体氮流失和渗漏污染地下水的风险,减少用水量等特点,由表 1 可以看出,每亩传统水稻的需水量是  $1400 \text{ m}^3$  [5],每亩衬膜水稻的需水量是  $800 \text{ m}^3$  [5],而采用双膜覆盖技术种植的水稻,每亩仅需  $500 \text{ m}^3$  的水。

Table 1. Comparison of rice water requirement

表 1. 水稻需水量对比

	传统水稻	衬膜水稻	双膜水稻
每亩需水量( $\text{m}^3$ )	1400	800	500

### 3. 衬膜技术

水稻衬膜技术是基于无土栽培原理，将不能保水保肥的沙子作为床土，在沙土下铺设塑料薄膜以防止水肥渗漏，并通过定期计划性的浇水施肥，使作物获得良好的生长环境而获得高产的新技术[6]。在相同的条件下，采用水稻衬膜技术种植的水稻与普通水稻相比，能节省约 30%的水、10%的肥料、生育期缩短 7~10 天；进行衬膜工程改造的水稻田能连续种植 10~12 年，无需翻耕[7]。1994 年，内蒙古自治区奈曼旗进行了衬膜水稻试验种植，23 亩试验田平均产量为每亩 649 公斤[8]。20 世纪 60 年代中期，日本水稻专家松岛省三等进行了小规模的水稻衬膜种植试验，获得了一定的成果[9]。

### 4. 覆膜技术

水稻覆膜技术是一种节水栽培方法，将水稻种植在有塑料薄膜覆盖的田地上，然后在不被水淹没的条件下进行早管早长[10]。将稻田保护起来，具有节约水肥、节省劳动力成本等效果[11]。20 世纪 70 年代末，中国从日本引进了覆膜种植技术，取得了显著的效果，很大程度上提高了作物产量[12]。2007 年安岳县的两个村进行了共计 60 亩的试点种植试验，取得了良好的结果[13]。

## 5. 材料与研究方法

### 5.1. 研究区域概况

研究区位于科尔沁沙地的南部，东经 120°18'30"~121°30'40"，北纬 42°13'30"~43°31'20"，属内蒙古自治区通辽市奈曼旗，气候属大陆性温带半干旱气候，年平均降水量为 366 mm，降水主要集中在 6 月到 8 月，年平均气温为 6.3℃，年蒸发量为 1935 mm [14]。目前该区域已有一万亩的覆膜水稻田。

### 5.2. 土壤样品采集

为确保田间采样的科学性，在环境基本相同的沙地中选取了未进行修复的沙地和自从 2014 年以来采用双膜覆盖技术进行水稻种植的样地于 2014 年和 2018 年分别采样。分别选取 4 个 10 m × 10 m 的样方，以梅花法进行划点采样，采样深度为 0~30 cm，采样结束后将每个样品以四分法缩分，去除杂质后带回实验室处理保存。

### 5.3. 测定方法

土壤总氮利用元素分析仪测定，土壤总磷采用酸熔 - 钼锑抗比色法测定，土壤总钾采用氢氟酸 - 高氯酸消煮法测定[15]，土壤有机质采用高温外热氧化 - 亚铁滴定法(GB9834-88)测定[16]。

## 6. 结果与分析

采用双膜覆盖技术种植水稻以修复荒漠化土壤，在环境相同的未修复沙地与已修复沙地分别采样，测量并分析其氮、磷、钾和有机质含量。对荒漠化土壤进行修复，主要是提高土壤肥力[17]，而土壤肥力是通过土壤中的养分来衡量的[18]，因此，荒漠化土壤的修复表现为土壤养分的增加。其中以氮、磷为限制因素[19]。

### 6.1. 氮循环

水稻生长所需的氮 50%~70%是土壤提供的[20]，土壤供氮能力的强弱影响着水稻的产量[21]。土壤中的氮素转化是生物 - 土壤生态系统中氮循环的重要组成部分[22]，所以需要进一步探究覆膜水稻田的氮循环，并用草原与荒漠的土壤氮循环进行对比(见图 1~6)。

### 6.1.1. 覆膜水稻氮循环

如图 1、图 2 所示，覆膜水稻田的氮循环中，氮的输入项有降水氮、生物固氮、有机肥施用氮和种子带入氮，氮的输出项有作物收获氮、反硝化损失氮和农田氨挥发氮。

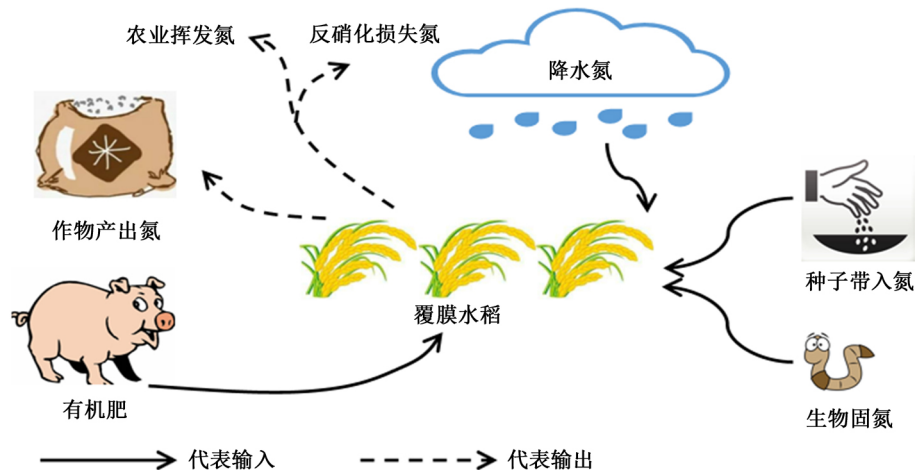


Figure 1. Desert rice nitrogen cycle  
图 1. 覆膜水稻氮循环图

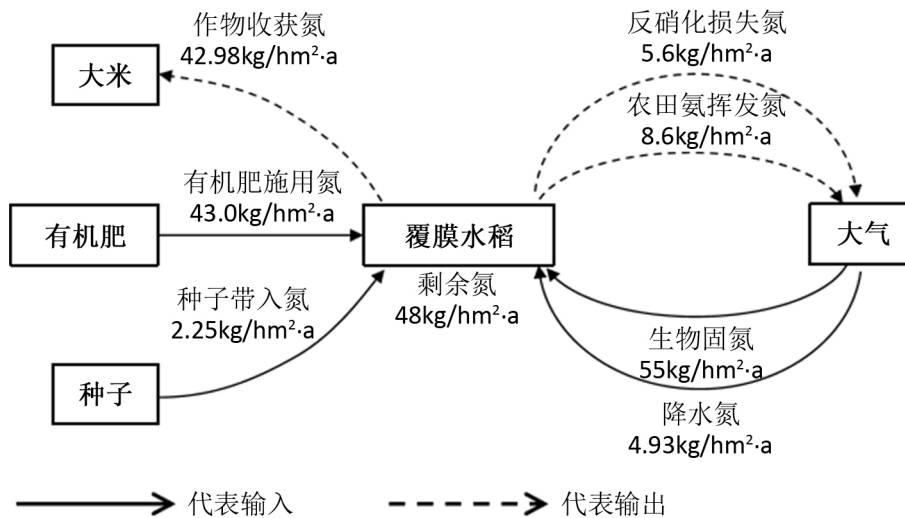


Figure 2. Desert rice nitrogen cycle flow chart  
图 2. 覆膜水稻氮循环流程图

#### 1) 降水氮

通过计算近几年内蒙古自治区年平均降水量[24]，得出降水氮为  $4.93 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $328.6 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ )。

#### 2) 生物固氮

由作物固氮与土壤生物固氮组成，其中水稻固氮系数为  $30 \text{ kg/hm}^2$ ，土壤生物固氮系数为  $25 \text{ kg/hm}^2$  [23]。得出生物固氮为  $55 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $3666.7 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ )。

#### 3) 有机肥施用氮

施用的有机肥为猪粪，猪粪的含氮量约为  $2 \text{ g/kg}$  [25]。得出的结果为  $43.0 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $2866.7 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ )。

#### 4) 种子带入氮

水稻种子的氮系数为  $2.25 \text{ kg/hm}^2$  [23]。得出的结果是  $2.25 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $150 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ )。

5) 作物收获氮

收获水稻含氮系数为 19.1 kg/t [23]。得出的结果是 42.98 kg/hm<sup>2</sup>·a (2865.0 g/亩·a)。

6) 反硝化损失氮

有机肥反硝化损失量为含氮量乘以 13% [23]。得出的结果是 5.6 kg/hm<sup>2</sup>·a (373.0 g/亩·a)。

7) 农田氨挥发氮

有机肥农田氨挥发量为含氮量乘以 20% [23]。得出的结果是 8.6 kg/hm<sup>2</sup>·a (573.0 g/亩·a)。

沙漠水稻土壤氮的输入有降水氮、生物固氮、有机肥施用氮、种子带入氮，结果如下表 2:

Table 2. Input of soil nitrogen in desert rice  
表 2. 沙漠水稻土壤氮的输入

	降水氮	生物固氮	有机肥施用氮	种子带入氮	总计
输入氮(kg/hm <sup>2</sup> ·a)	4.93	55	43	2.25	105.18

沙漠水稻土壤氮的输出有：作物收获氮、反硝化损失氮、农田氨挥发氮，结果如下表 3:

Table 3. Output of soil nitrogen in desert rice  
表 3. 沙漠水稻土壤氮的输出

	作物收获氮	反硝化损失氮	农田挥发氮	总计
输出氮(kg/hm <sup>2</sup> ·a)	42.98	5.6	8.6	57.18

计算覆膜水稻土壤氮素的输入项与输出项，得出剩余氮的量为 48 kg/hm<sup>2</sup>·a。

6.1.2. 草原氮循环

如图 3、图 4 所示，草原的氮循环中，氮的输入项有降水氮、生物固氮和动物粪便施入氮，氮的输出项有动物觅食和反硝化损失氮。

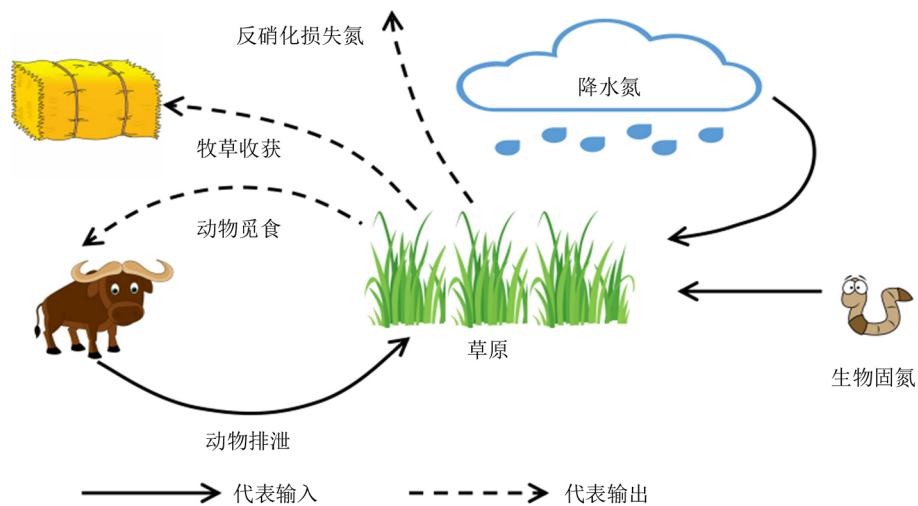
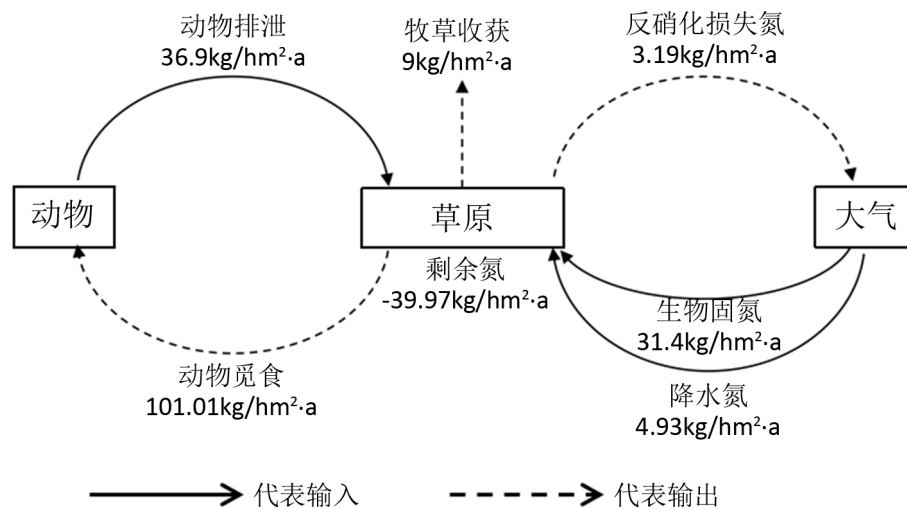


Figure 3. Grassland nitrogen cycle  
图 3. 草原氮循环图

1) 降水氮

通过计算近几年内蒙古自治区年平均降水量[24]，得出降水氮为 4.93 kg/hm<sup>2</sup>·a (328.6 g/亩·a)。



**Figure 4.** Grassland nitrogen cycle flow chart  
**图 4.** 草原氮循环流程图

## 2) 生物固氮

生物固氮为  $9.3 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $620\text{g/亩}\cdot\text{a}$ ) [26]。

## 3) 反硝化损失氮

反硝化损失氮为  $3.2 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $213.3\text{g/亩}\cdot\text{a}$ ) [27]。

## 4) 动物觅食

折算为绵羊，平均  $0.41$  只/亩，日食草  $3 \text{ kg}$ ，草含氮率  $3\%$ ，动物觅食输出氮为  $101 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $6734.3 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ ) [28]。

## 5) 动物排泄

折算为绵羊，平均  $0.41$  只/亩，年排便  $1$  吨，粪便含氮量  $0.6\%$ ，动物排泄投入氮为  $36.9 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $2460 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ ) [28]。

## 6) 牧草收获

每年秋季收割牧草，平均每亩收割  $10 \text{ kg}$  (干草)，干草含氮率  $6\%$ ，牧草收获  $9 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $600 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ ) [28]。草原土壤氮的输入有降水氮、生物固氮、动物排泄，结果如下表 4：

**Table 4.** Input of soil nitrogen in grassland

**表 4.** 草原土壤氮的输入

	降水氮	生物固氮	动物排泄	总计
输入氮( $\text{kg/hm}^2\cdot\text{a}$ )	4.93	9.3	36.9	51.13

草原土壤氮的输出有：反硝化损失氮、动物觅食、牧草收获，结果如下表 5：

**Table 5.** Output of soil nitrogen in grassland

**表 5.** 草原土壤氮的输出

	反硝化损失氮	动物觅食	牧草收获	总计
输出氮( $\text{kg/hm}^2\cdot\text{a}$ )	3.2	101	9	113.2

计算草原土壤氮素的输入项与输出项，得出剩余氮的量为  $-62.07 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$ 。

### 6.1.3. 荒漠氮循环

如图 5、图 6 所示，荒漠氮循环中，氮的输入项有降水氮和生物固氮，氮的输出项有反硝化损失氮。土壤养分循环中的输入量和输出量的大小决定了土壤肥力的盈亏[23]。

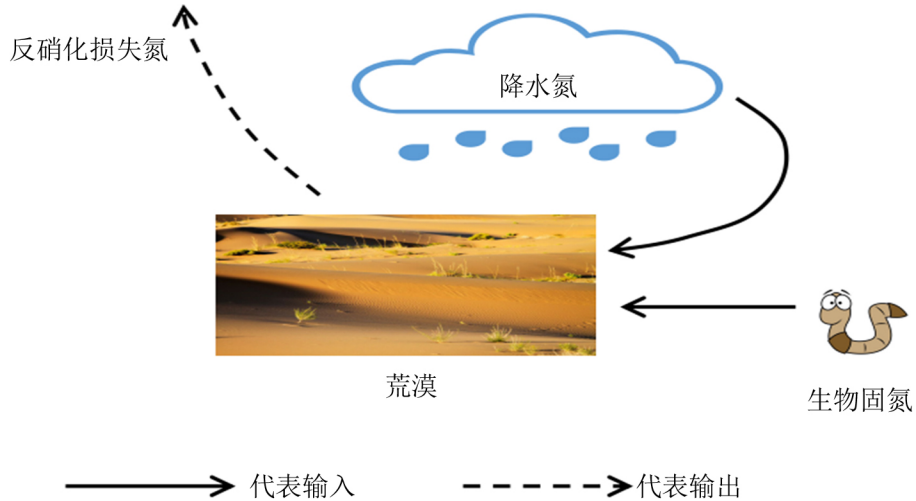


Figure 5. Desert nitrogen cycle  
图 5. 荒漠氮循环图

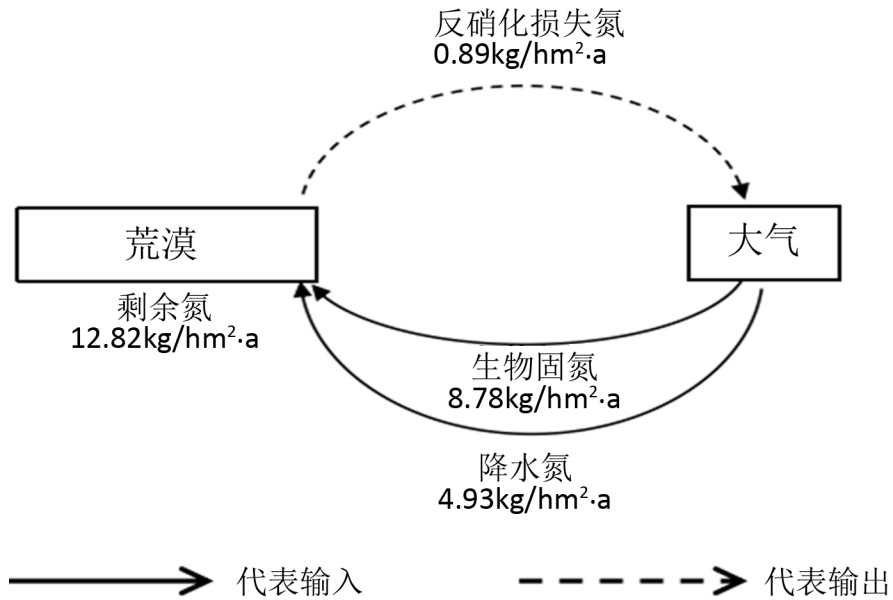


Figure 6. Desert nitrogen cycle flow chart  
图 6. 荒漠氮循环流程图

#### 1) 降水氮

通过计算近几年内蒙古自治区年平均降水量[24]，得出降水氮为  $4.93 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $328.6 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ )。

#### 2) 生物固氮

生物固氮为  $8.78 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $585.0 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ ) [29]。

#### 3) 反硝化损失氮

反硝化损失氮为  $0.89 \text{ kg/hm}^2\cdot\text{a}$  ( $59.5 \text{ g/亩}\cdot\text{a}$ ) [30]。

荒漠土壤氮的输入有降水氮、生物固氮，结果如下表 6：

**Table 6.** Input of soil nitrogen in desert  
**表 6.** 荒漠土壤氮的输入

	降水氮	生物固氮	总计
输入氮(kg/hm <sup>2</sup> ·a)	4.93	8.78	13.71

荒漠土壤氮的输出是反硝化损失氮，结果如下表 7：

**Table 7.** Output of soil nitrogen in desert  
**表 7.** 荒漠土壤氮的输出

	反硝化损失氮	总计
输出氮(kg/hm <sup>2</sup> ·a)	0.89	0.89

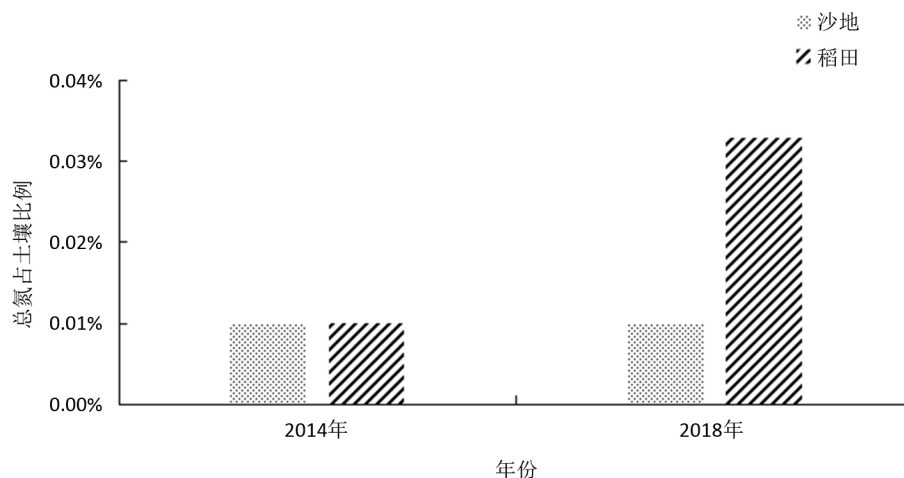
计算荒漠土壤氮素的输入项与输出项，得出剩余氮的量为 12.82 kg/hm<sup>2</sup>·a。

#### 6.1.4. 覆膜水稻、草原和荒漠氮循环对比

草原生态系统中由于饲养牲畜且牲畜被贩卖、屠宰，残骸不能回归，导致输出氮大于输入氮，总氮含量逐年减少。荒漠生态系统中虽然输入氮大于输出氮，但由于氮的输入项和输入量均过于稀少，总氮的增长也很少。覆膜水稻由于水稻共生的根瘤菌有固氮作用，又定量施入有机肥料，总氮含量稳定增加，加快荒漠化土壤的修复速度。

#### 6.2. 覆膜水稻土壤总氮含量变化

氮占植物干重的 0.3%~5% [31]，是植物生长发育所必需物质的组成部分，如蛋白质、核酸、磷脂等 [32]。它是评价土壤肥力高低的重要指标之一 [33]，在农作物生长和土壤生态系统中起着十分关键的作用 [34]。本研究分别测量和分析了未修复沙地和稻田土壤的总氮含量。由图 7 可知，随着水稻种植年数的增长，稻田土壤中的总氮含量也不断上升。与未进行修复的沙地相比，使用膜技术种植的稻田土壤总氮含量增加了 230%。结果表明，使用膜技术种植水稻可以增加水稻土的总氮含量，改善土壤，有助于水稻合成生长发育所需要得养分。



**Figure 7.** Total nitrogen to soil ratio  
**图 7.** 总氮占土壤比率



### 6.3. 土壤总磷含量变化

植物在生长过程中需要吸收大量的磷，其中大部分是有土壤供给的[35]。本研究分别测量和分析了未修复沙地和稻田土壤的总磷含量，由图 8 可知，随着水稻种植年数的增长，稻田土壤中的总磷含量也不断上升。与未进行修复的沙地相比，使用膜技术种植的稻田土壤总磷含量增加了 750%。结果表明，使用膜技术种植水稻可以增加水稻土的总磷含量。

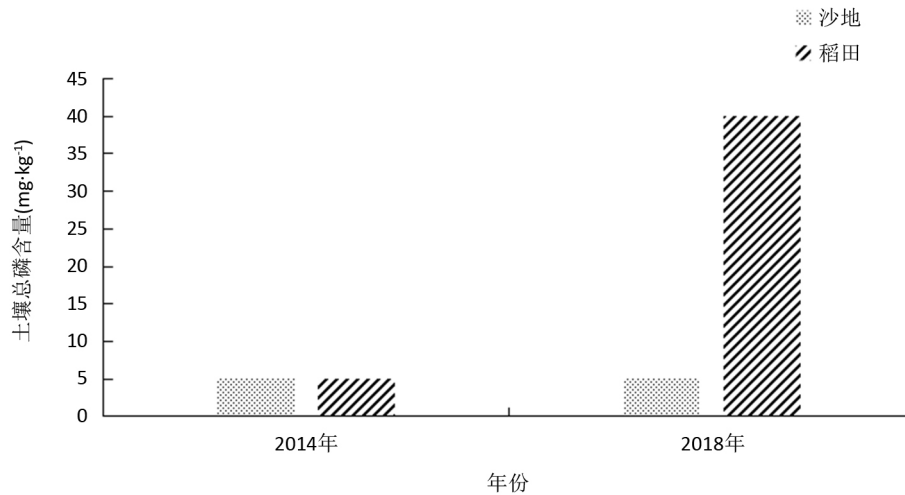


Figure 8. Total phosphorus content

图 8. 总磷含量

### 6.4. 土壤总钾含量变化

钾是植物必需的营养元素之一，植物所需的钾主要是由土壤供给的[36]。植物用根系吸收通过扩散或质流等方式到达根表的钾[37]。本研究分别测量和分析了未修复沙地和稻田土壤的总钾含量。由图 9 可知，随着水稻种植年数的增长，稻田土壤中的总钾含量也不断上升。与未进行修复的沙地相比，使用膜技术种植的稻田土壤总钾含量增加了 100%。结果表明，使用膜技术种植水稻可以增加水稻土的总钾含量。

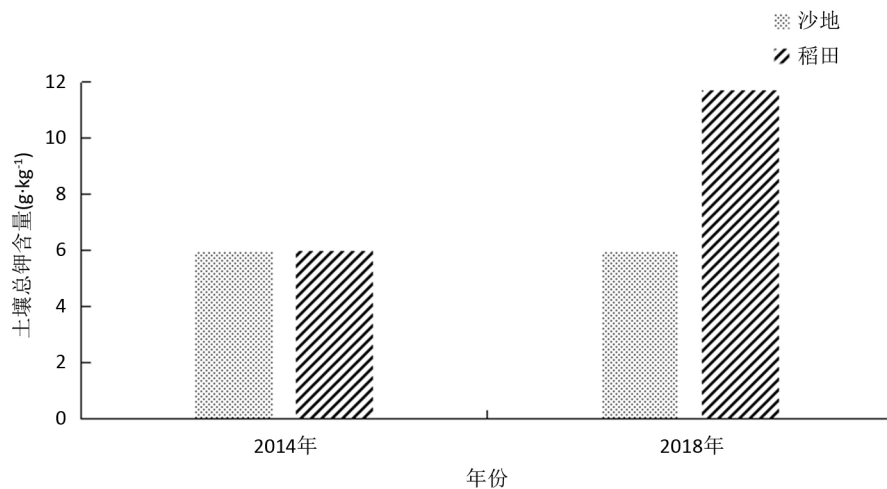


Figure 9. Total potassium content

图 9. 总钾含量

## 6.5. 土壤有机质含量变化

土壤有机质是评价土壤肥力的重要指标之一[38]，也是影响土地生产力的重要因素[39]。土壤中的有机质不仅是植物生长所必需营养素的主要来源，还可以增加土壤蓄水量、保水性和保肥能力[40]，改善土壤结构和理化性质(缓冲性能，吸附性能，离子交换性能和络合能力等)[41]。在荒漠化地区，其含量更是评价该地区土壤质量的重要指标[42]。本研究分别测量和分析了未修复沙地和稻田土壤的有机质含量。由图 10 可知，随着水稻种植年数的增长，稻田土壤中的有机质含量也不断上升。与未进行修复的沙地相比，使用膜技术种植的稻田土壤有机质含量增加了 146%。结果表明，使用膜技术种植水稻可以增加水稻土的有机质含量，改善土壤土质，帮助作物更高效的合成生长所需的养分。

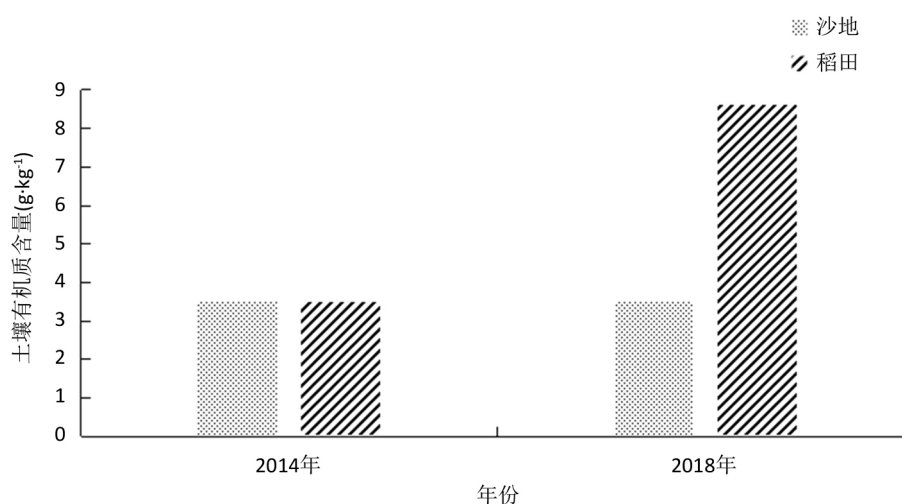


Figure 10. Organic matter content

图 10. 有机质含量

## 7. 结论

通过对比草原、荒漠和覆膜水稻的氮素循环得出结论：草原生态系统中由于饲养牲畜且牲畜被贩卖、屠宰，残骸不能回归，导致输出氮大于输入氮，总氮含量逐年减少。荒漠生态系统中虽然输入氮大于输出氮，但由于氮的输入项和输入量均过于稀少，总氮的增长也很少。覆膜水稻由于水稻共生的根瘤菌有固氮作用，又定量施入有机肥料，总氮含量稳定增加，加快荒漠化土壤的修复速度。

采用双膜覆盖技术进行水稻种植，水稻土中氮、磷、钾、有机质含量皆随着水稻种植年数的增加而增加。至 2018 年，与未修复的沙化土壤相比，采用双膜覆盖技术种植的水稻土中，总氮增加了 230%，总磷增加了 750%，总钾增加了 100%，有机质增加了 146%。总的来说，双膜覆盖技术的应用可以修复沙化土壤，逐步将土壤养分增加到正常土壤水平。沙漠化土壤得到恢复，并为日后植物的生长提供所需营养。另一方面，稻田产出的水稻可以为市场提供高质量的绿色稻米，在沙区形成独特的绿色有机稻米产业带，为当地农民增加收入。

## 基金项目

辽宁省教育厅 2017 年度高等学校基本科研立项：双膜覆盖沙漠水稻种植技术研究(LFW201703)。

## 参考文献

- [1] 屠志方, 李梦先, 孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析[J]. 林业资源管理, 2016(1): 1-5.

- [2] 蒋德明, 刘志民, 寇振武. 科尔沁沙地荒漠化及生态恢复研究展望[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1695-1698.
- [3] 朱震达. 土地荒漠化问题研究现状与展望[J]. 地理研究所, 1994, 13(1): 104-113.
- [4] 董光荣, 吴波, 慈龙骏, 等. 我国荒漠化现状、成因与防治对策[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 318-332.
- [5] 王婷. 榆林沙区衬膜水稻栽培技术研究及构建[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [6] 张雄, 山颖, 张继平. 沙地衬膜水稻施肥效应与技术研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 139-142.
- [7] 池海清. 沙地衬膜栽培水稻技术研究[J]. 现代农业科技, 2008(18): 172.
- [8] 王贵平. 向沙漠要粮已梦想成真——沙地衬膜种稻技术[J]. 现代农业, 1995(10): 17-18.
- [9] 松岛省三. 水稻栽培新技术[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1987.
- [10] 刘洋, 张玉焯, 王学华. 水稻覆膜栽培研究现状与展望[J]. 湖南农业科学, 2009(2): 55-58.
- [11] 吴炳祥. 水稻覆膜栽培技术[J]. 现代农业科技, 2014(10): 31.
- [12] 吕世华, 刘水富, 袁江. 关于覆膜水稻推广应用“白色污染”问题的讨论[J]. 四川农业科技, 2009(2): 54-55.
- [13] 袁亮. 覆膜水稻在安岳县鸳鸯镇示范成功[J]. 四川农业科技, 2009(2): 44.
- [14] 于艳华, 乌兰图雅, 阿拉腾图雅. 科尔沁沙地退耕还林还草的生态效应分析——以通辽市奈曼旗为例[J]. 国土资源科技管理, 2007, 24(1): 23-28.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [16] 中华人民共和国国家标准(GB9834-88). 土壤有机质测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [17] 王磊, 香宝, 苏本营, 等. 城市污泥应用于我国北方沙地生态修复的探讨[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(5): 484-492.
- [18] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 生态环境学报, 2002, 11(2): 202-205.
- [19] 郭楠. 煤矿废弃地不同修复模式下土壤理化性质及生态化学计量学研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [20] 陈德立, 朱兆良. 稻田土壤供氮能力的解析研究[J]. 土壤学报, 1988(3): 262-268.
- [21] 蔡贵信, 张桃林, 朱兆良. 测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培养法的条件试验[J]. 土壤, 1979(6): 234-240.
- [22] 张金波, 宋长春. 土壤氮素转化研究进展[J]. 东北农业科学, 2004, 29(1): 38-43.
- [23] 梁雷, 张建莉, 王峰源. 辽宁省主要地区农田生态系统氮负荷的研究[J]. 水生太学杂志, 2013, 34(2): 62-68.
- [24] 崔学明, 樊明寿, 韩鹏, 等. 城市与草地生态系统大气氮沉降变化与特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(3): 98-102.
- [25] 梁雷, 刘峰, 何丽, 等. 浑河上游不同类型农户氮负荷特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2315-2322.
- [26] 谷保静. 人类-自然耦合系统氮循环研究——中国案例[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [27] 牛书丽, 蒋高明. 豆科植物在中国草原生态系统中的地位及其生理生态研究[J]. 植物学通报, 2004, 21(1): 9-18.
- [28] 内蒙古农牧业厅[Z]. 2017.
- [29] 邵晨曦. 毛乌素沙地生物结皮物种组成及氮动态研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [30] 贺寅月. 库布齐沙漠植物氮储量与土壤氮循环的研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2012.
- [31] 邢瑶, 马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科学导报, 2015, 17(2): 109-117.
- [32] 王平, 陈举林. 植物氮素吸收过程研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(1): 33-35.
- [33] 袁静, 季平扬, 袁艺. 修正的凯氏法测定土壤中的总氮[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(2): 143-146.
- [34] 郭小颖. 开氏消煮-常量蒸馏-滴定法测定土壤中总氮量[J]. 环境研究与监测, 2011(2): 33-35.
- [35] 唐晓鹿, 范少辉. 土壤磷有效性研究进展[C]//中国林学会. 第九届中国林业青年学术年会论文集. 北京: 中国林学会, 2010: 1-7.
- [36] 刘会玲, 陈亚恒, 段毅力, 等. 土壤钾素研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(z1): 66-68.
- [37] 占丽平, 李小坤, 鲁剑巍, 等. 土壤钾素运移的影响因素研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(4): 548-553.
- [38] 宋春雨, 张兴义, 刘晓冰, 等. 土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 357-362.

- [39] 张治国, 马福武. 土壤有机质对坡耕地土壤侵蚀及作物产量的影响[J]. 中国水土保持, 1997(8): 11-13.
- [40] 李文芳, 杨世俊, 文赤夫, 等. 土壤有机质的环境效应[J]. 环境与可持续发展, 2004(4): 31-33.
- [41] 文启孝. 土壤有机质的组成、形成和分解[J]. 土壤, 1984, 16(4): 3-11.
- [42] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2776-2781.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)