

# Effect of Nitrogen Addition on Photosynthetic Pigments Content of Different Niche Plants

Song Li, Zandanchecheg, Yan Hong, Sechenbaater\*

College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot Inner Mongolia

Email: \*siqinbt@imnu.edu.cn

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Apr. 18<sup>th</sup>, 2018; published: Apr. 25<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

The effect of nitrogen addition on photosynthetic pigments content of desert area endangered plant *Prunus mongolica* and its related species of *P. pedunculata* and *P. triloba* was studied. The experiment results showed that the content of chlorophyll b in *P. mongolica* increased significantly ( $p < 0.01$ ) on the third day after nitrogen addition, on the 6th day of treatment, the content of chlorophyll a also increased significantly ( $p < 0.01$ ), and the significant difference had been maintained throughout the measurement time. Nitrogen addition did not cause a significant increase in chlorophyll a content in *P. pedunculata* and *P. triloba* ( $p > 0.05$ ), however, the content of chlorophyll b showed significant difference on the twelfth day after the first spraying treatment and the tenth day after the second spraying treatment ( $p < 0.01$ ). There was a significant difference in the chlorophyll b content of *P. triloba* on the 10th day of the second treatment ( $p < 0.01$ ). Nitrogen application caused the increase of carotenoid content of the three plants, which means that nitrogen application not only affects plant nitrogen metabolism, but also affects other material metabolism.

## Keywords

Nitrogen Addition, Different Niche, Photosynthetic Pigments

# 氮素添加对不同生态位植物光合色素含量的影响

李 松, 散丹其其格, 红 艳, 斯琴巴特尔\*

内蒙古师范大学, 生命科学与技术学院, 内蒙古 呼和浩特

\*通讯作者。

## 摘要

本文研究了氮素添加( $50 \text{ gN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )对荒漠区濒危植物蒙古扁桃及其近缘种长柄扁桃和榆叶梅光合色素含量的影响。实验结果表明,氮素添加第3天开始蒙古扁桃叶绿素b含量显著增加( $p < 0.01$ ),处理第6天,叶绿素a含量也显著增加( $p < 0.01$ ),而且这种显著性差异一直维持在整个测定时间。添加氮素并没有引起长柄扁桃和榆叶梅叶绿素a含量显著增加( $p > 0.05$ ),而其叶绿素b含量在长柄扁桃第一次喷施处理的第12天和第二次喷施处理的第10天才出现显著性差异( $p < 0.01$ );在榆叶梅叶绿素b含量在第二次处理的第10天才出现显著差异( $p < 0.01$ )。氮素添加均引起3种植物类胡萝卜素含量的增加,这说明,氮素添加不仅影响植物氮代谢,而且也影响着其他物质代谢。

## 关键词

氮素添加, 不同生态位, 光合色素

Copyright © 2018 by authors 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

氮是生物地球化学循环和能量流动的基础[1],氮素输入的改变势必影响生态系统的物质循环和能量流动。自20世纪中叶以来,化石燃料燃烧、化学氮肥生产和使用及畜牧业的扩张等人类活动向大气中排放的含氮化合物( $\text{NH}_x$ 和 $\text{NO}_y$ )激增,导致氮沉降(nitrogen deposition)通量的急剧上升[2],对生态系统生产力、物种多样性和群落结构产生深刻的影响[3],被认为是继土地利用变化和气候变化之后影响植物物种多样性的第三大驱动因子[4]。研究表明[5][6][7],氮素添加改变了草地植被物种组成,降低了群落物种多样性。苏洁琼等在宁夏沙坡头荒漠化草原模拟氮沉降实验,结果表明[8],草本植物物种丰富度和多度在年内均随着氮素添加水平的增大而降低,且物种多度比丰富度的降低程度更大;植物物种丰富度和多度年际间的变化则表现为低氮水平下差异显著,高氮水平下差异不显著。而薄正熙等在内蒙古温带典型草原以 $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 量氮素添加处理发现[9],总生物量、地上生物量、地下生物量和禾草类地上生物量均显著增加,而杂草类地上生物量变化不显著。这说明,氮沉降对不同物种的影响是不同的。研究证明[10],叶片叶绿素含量与其叶氮浓度成正相关关系。本实验通过测定阿拉善荒漠区建群种蒙古扁桃及其近缘种长柄扁桃和榆叶梅光合色素含量,来探讨同属不同生态位物种对氮素添加的响应,以为荒漠区植被的保护与恢复提供实验依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验基地自然概况

本实验于2016年6月末至9月末在内蒙古蒙草抗旱股份有限公司研发中心旱生植物培育基地进行。

该基地位于呼和浩特市和林格尔县盛乐工业园区，地处阴山山脉南侧，土默川平原的南缘，地理坐标为 N40°29'90"，E111°49'45"，海拔高度为 1100 m，温带半干旱大陆性季风气候，无霜 113 d~134 d，年平均气温在 6.2℃，极端最低气温为-31.7℃，极端最高气温为 37.9℃，年平均降水量为 392.8 mm，年平均蒸发量为 1961.9 mm，土壤类型属栗褐土，其有机质、全氮含量分别为 0.60%~0.88%和 0.050%~0.075% [11] [12]。具有灌溉条件，视土壤墒情不定期进行灌溉。

## 2.2. 植物材料与氮素添加处理

在基地选取荒漠区濒危植物蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)作为实验对象进行研究。选取长柄扁桃(*P. pedunculata*)、榆叶梅(*P. triloba*)作为实验参照植物(表 1)。实验植物于 2012 年移栽至该基地，同种植物以 12 m×3 m 圃地集中栽培，苗高 1 m 左右，苗木以常规育苗管理。在苗圃内以 3 m×3 m 设样方，每个样方之间间隔 1 m 的缓冲带，每种处理重复 3 次。参照杨涵越等的处理[13]，模拟高通量氮沉降，处理组添加氮素量设计为 50 gN·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>，以 25 gN·m<sup>-2</sup>的计量分 2 次喷施处理。处理时间分别为 2016 年 7 月 18 日、19 日及 8 月 5 日、6 日。下午 16 时后叶面喷施尿素(AR)溶液。对照组喷施等量水分。

## 2.3. 光合色素含量的测定

氮素喷施处理第 3 天开始，每隔 3 d 测定 1 次光合色素含量。选取位于株顶第 2 枝向阳面完整叶片，用 80% 丙酮提取，用 Arnon 比色法测定光合色素含量。每个样方重复测定 3 次。

## 3. 结果与分析

氮素添加处理对不同植物的影响不同。蒙古扁桃叶片光合色素含量对氮素添加响应很敏感(表 2)，处理后第 3 天其叶绿素 b 和类胡萝卜素含量显著增加，与对照组产生显著差异( $p < 0.01$ )。处理第 6 天，叶绿素 a 含量也显著增加( $p < 0.01$ )，而且这种显著性差异一直维持在整个测定时间。

长柄扁桃和榆叶梅都是蒙古扁桃的近缘种，长柄扁桃在我国主要分布于黑龙江、辽宁、吉林、内蒙古、陕西，在俄罗斯的西伯利亚和蒙古国也有零星分布[14]。而榆叶梅的自然分布较前两个物种更加广泛，在我国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃、山东、江西、江苏、浙江等地区都有分布[15]。添加氮素处理后，长柄扁桃和榆叶梅叶绿素 a 含量并没有显著增加( $p > 0.05$ )，叶绿素 b 和类胡萝卜素含量在长柄扁桃第一次喷施处理的第 12 天和第二次喷施处理的第 10 天才出现显著性差异( $p < 0.01$ )。其叶绿素 a/b 比值同样在处理后期出现差(表 3)异。而榆叶梅叶绿素 b 含量在第二次处理的第 10 天才出现显著差异，其类胡萝卜素含分别在处理的第 3 天和第 15 天出现显著性差异( $p < 0.01$ ) (表 4)。

## 4. 结论与讨论

陆地生态系统大多都处于氮素缺乏的状态，氮素的净输入增加必将改变种间和种内竞争关系，进一

Table 1. Experimental plant material profiles

表 1. 实验用植物材料概况

植物名称	植物分类	生活型	自然分布	受保护情况
蒙古扁桃( <i>Prunus mongolica</i> )	蔷薇科李属	多年生落叶灌木	亚洲中部荒漠区特有种	国家三级保护濒危植物
长柄扁桃( <i>P. pedunculata</i> )	蔷薇科李属	多年生落叶灌木	温带干草原地带固定、半固定沙地旱生树种	内蒙古二级保护濒危植物
榆叶梅( <i>P. triloba</i> )	蔷薇科李属	多年生落叶灌木	我国特产花木，在我国北方地区广泛栽培	常见种

**Table 2.** Effect of nitrogen addition on the content of photosynthetic pigment in *P. mongolica*  
**表 2.** 氮素添加对蒙古扁桃光合色素含量的影响/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  DW

月日	组别	Chla	Chlb	Car	Chla+b	Chla/b	Chla+b/Car
7.21	CK	8.66 ± 1.19	3.53 ± 0.33**	3.01 ± 0.35**	12.19 ± 1.50**	2.45 ± 0.14**	4.05 ± 0.11*
	T	9.67 ± 0.94	5.93 ± 1.26**	3.53 ± 0.41**	15.60 ± 0.86**	1.71 ± 0.44**	4.46 ± 0.46*
7.24	CK	6.79 ± 0.41**	3.12 ± 0.30*	2.62 ± 0.18**	9.91 ± 0.68**	2.18 ± 0.13**	3.80 ± 0.42
	T	10.18 ± 0.52**	3.64 ± 0.47*	3.61 ± 0.23**	13.82 ± 0.37**	2.85 ± 0.46**	3.85 ± 0.31
7.27	CK	8.12 ± 0.51**	3.26 ± 0.13**	2.82 ± 0.07**	11.38 ± 0.46**	2.49 ± 0.21	4.04 ± 0.20
	T	10.64 ± 0.40**	4.25 ± 0.43**	3.54 ± 0.22**	14.89 ± 0.20**	2.53 ± 0.33	4.22 ± 0.28
7.30	CK	8.33 ± 0.45**	2.40 ± 0.38**	3.36 ± 0.14	10.73 ± 0.65**	3.55 ± 0.62	3.20 ± 0.18*
	T	9.57 ± 0.34**	3.45 ± 0.75**	3.49 ± 0.56	13.02 ± 0.82**	2.92 ± 0.76	3.83 ± 0.73*
8.2	CK	8.19 ± 0.14**	3.77 ± 0.61	2.87 ± 0.21	11.96 ± 0.66*	2.23 ± 0.39	4.20 ± 0.53
	T	9.20 ± 0.60**	3.94 ± 0.46	3.04 ± 0.21	13.14 ± 1.04*	2.35 ± 0.15	4.35 ± 0.55
8.8	CK	8.15 ± 0.42**	4.10 ± 0.74*	2.68 ± 0.16**	12.25 ± 1.10**	2.04 ± 0.33	4.61 ± 0.65
	T	9.15 ± 0.43**	4.85 ± 0.32*	3.12 ± 0.21**	14.00 ± 0.66**	1.89 ± 0.11	4.52 ± 0.45
8.12	CK	8.13 ± 0.51**	3.22 ± 0.55**	3.01 ± 0.29	11.35 ± 0.72**	2.60 ± 0.53**	3.80 ± 0.49**
	T	9.01 ± 0.55**	4.42 ± 0.32**	3.00 ± 0.21	13.43 ± 0.83**	2.04 ± 0.09**	4.49 ± 0.42**
8.15	CK	7.80 ± 0.27**	3.95 ± 0.45	2.63 ± 0.22**	11.75 ± 0.70	1.99 ± 0.16**	4.49 ± 0.47*
	T	8.47 ± 0.48**	3.62 ± 0.39	3.11 ± 0.29**	12.09 ± 0.66	2.37 ± 0.28**	3.93 ± 0.47*
8.18	CK	7.05 ± 0.49**	3.10 ± 0.63*	2.93 ± 0.21*	10.15 ± 1.11**	2.34 ± 0.37	3.49 ± 0.57
	T	8.52 ± 0.71**	3.70 ± 0.26*	3.19 ± 0.18*	12.22 ± 0.90**	2.30 ± 0.15	3.83 ± 0.16
8.21	CK	7.32 ± 0.61**	3.14 ± 0.57	2.91 ± 0.22*	10.46 ± 1.14	2.37 ± 0.30	3.63 ± 0.58
	T	8.01 ± 0.30**	3.36 ± 0.63	3.17 ± 0.18*	11.37 ± 0.91	2.44 ± 0.41	3.61 ± 0.47

注释: \*表示在  $P < 0.05$  水平, \*\*表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著。

**Table 3.** Effect of nitrogen addition on the content of photosynthetic pigment in *P. pedunculata*  
**表 3.** 氮素添加处理对长柄扁桃光合色素含量的影响/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  DW

月日	组别	Chla	Chlb	Car	Chla + b	Chla/b	Chla + b/Car
7.21	CK	7.30 ± 0.67	4.08 ± 0.98	3.03 ± 0.48	11.38 ± 1.60	1.86 ± 0.35	3.88 ± 1.01
	T	7.52 ± 0.55	3.90 ± 0.57	3.07 ± 0.33	11.42 ± 1.11	1.95 ± 0.16	3.79 ± 0.72
7.24	CK	7.67 ± 0.18	4.93 ± 0.30	2.62 ± 0.39	12.60 ± 0.29	1.56 ± 0.11	4.92 ± 0.77
	T	7.76 ± 0.43	4.73 ± 0.34	2.86 ± 0.19	12.48 ± 0.73	1.64 ± 0.07	4.39 ± 0.44
7.27	CK	7.70 ± 0.56	4.78 ± 0.59	2.83 ± 0.43	12.49 ± 0.51	1.64 ± 0.31	4.53 ± 0.84**
	T	7.97 ± 0.58	4.31 ± 0.58	3.18 ± 0.36	12.28 ± 0.57	1.89 ± 0.34	3.88 ± 0.35**
7.30	CK	8.05 ± 1.25	4.23 ± 0.34	3.14 ± 0.36	12.28 ± 1.49	1.90 ± 0.22	3.97 ± 0.68
	T	8.16 ± 0.77	4.11 ± 0.22	3.31 ± 0.40	12.26 ± 0.81	1.99 ± 0.20	3.74 ± 0.43
8.2	CK	8.03 ± 1.35	4.41 ± 0.52**	2.87 ± 0.28**	12.44 ± 1.52	1.84 ± 0.33*	4.42 ± 0.99*
	T	8.16 ± 0.97	4.70 ± 0.20**	3.39 ± 0.22**	12.86 ± 0.87	1.74 ± 0.35*	3.50 ± 0.14*
8.8	CK	8.27 ± 0.80	4.14 ± 0.24	3.15 ± 0.26	12.41 ± 0.99	2.00 ± 0.13	3.98 ± 0.61
	T	8.35 ± 0.60	4.39 ± 0.45	3.25 ± 0.19	12.74 ± 0.76	1.92 ± 0.25	3.94 ± 0.46
8.12	CK	8.48 ± 0.49	3.89 ± 1.16	3.42 ± 0.54	12.37 ± 1.64	2.31 ± 0.49	3.76 ± 1.05
	T	8.72 ± 0.39	4.45 ± 0.35	3.30 ± 0.52	13.17 ± 0.70	1.97 ± 0.10	4.10 ± 0.75
8.15	CK	8.51 ± 0.77	4.53 ± 0.38**	3.11 ± 0.20	13.05 ± 0.89	1.89 ± 0.21	4.22 ± 0.51
	T	8.69 ± 0.92	5.18 ± 0.53**	2.97 ± 0.27	13.87 ± 0.95	1.70 ± 0.26	4.69 ± 0.46
8.18	CK	8.24 ± 1.19	4.38 ± 0.57	3.12 ± 0.41*	12.62 ± 1.72	1.88 ± 0.12**	4.17 ± 1.06
	T	8.63 ± 0.73	4.21 ± 0.36	3.48 ± 0.09*	12.84 ± 1.04	2.05 ± 0.11**	3.69 ± 0.37
8.21	CK	8.62 ± 1.52	4.08 ± 0.50*	3.21 ± 0.33	12.71 ± 2.00	2.10 ± 0.14**	4.05 ± 0.96
	T	8.54 ± 1.10	4.62 ± 0.40*	3.19 ± 0.14	13.17 ± 1.48	1.84 ± 0.10**	4.13 ± 0.48

注释: \*表示在  $P < 0.05$  水平, \*\*表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著。

**Table 4.** Effect of nitrogen addition on photosynthetic pigment in *P. triloba*  
**表 4.** 氮素添加对榆叶梅光合色素含量的影响/  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$

月日	组别	Chla	Chlb	Car	Chla + b	Chla/b	Chla + b/Car
7.21	CK	8.40 ± 0.69	4.15 ± 0.39	2.95 ± 0.06	12.55 ± 1.05	2.02 ± 0.09	4.25 ± 0.33
	T	8.91 ± 0.66	4.58 ± 0.51	3.11 ± 0.31	13.49 ± 1.10	1.96 ± 0.14	4.39 ± 0.74
7.24	CK	8.07 ± 0.80	4.25 ± 0.43	3.16 ± 0.28	12.32 ± 1.14	1.91 ± 0.15	3.89 ± 0.158
	T	8.29 ± 0.78	4.56 ± 1.14	3.08 ± 0.24	12.85 ± 1.89	1.89 ± 0.32	4.23 ± 0.92
7.27	CK	8.95 ± 1.00	4.93 ± 0.63	2.81 ± 0.49	13.88 ± 1.62	1.82 ± 0.06	5.18 ± 1.51
	T	8.53 ± 0.73	4.80 ± 0.29	3.11 ± 0.13	13.33 ± 0.97	1.77 ± 0.10	4.31 ± 0.45
7.30	CK	9.04 ± 0.57	3.67 ± 0.31	3.19 ± 0.18	12.71 ± 0.84	2.47 ± 0.12	3.99 ± 0.13
	T	9.17 ± 0.47	4.20 ± 0.77	3.24 ± 0.57	13.37 ± 1.20	2.24 ± 0.34	4.32 ± 1.25
8.2	CK	8.69 ± 0.39	4.05 ± 0.60	3.22 ± 0.32	12.74 ± 0.55	2.20 ± 0.39	3.99 ± 0.50
	T	8.67 ± 0.42	3.92 ± 0.21	3.42 ± 0.12	12.59 ± 0.60	2.21 ± 0.07	3.69 ± 0.29
8.8	CK	8.59 ± 0.73	4.26 ± 0.74	2.96 ± 0.33*	12.85 ± 1.45	2.05 ± 0.19	4.43 ± 0.93
	T	8.66 ± 0.64	4.35 ± 0.39	3.39 ± 0.32*	13.01 ± 0.89	2.00 ± 0.17	3.88 ± 0.48
8.12	CK	8.75 ± 0.64	3.95 ± 0.34	3.16 ± 0.31	12.70 ± 0.55	2.23 ± 0.32	4.04 ± 0.33
	T	8.60 ± 0.59	4.29 ± 0.39	3.10 ± 0.17	12.89 ± 0.77	2.02 ± 0.21	4.17 ± 0.31
8.15	CK	8.91 ± 0.47	3.74 ± 0.29**	3.30 ± 0.40	12.65 ± 0.73	2.39 ± 0.11**	3.91 ± 0.73
	T	8.93 ± 0.76	4.33 ± 0.25**	3.09 ± 0.24	13.26 ± 0.87	2.06 ± 0.18**	4.34 ± 0.63
8.18	CK	9.03 ± 0.48	3.95 ± 0.63	3.20 ± 0.34**	12.98 ± 1.07	2.33 ± 0.28*	4.13 ± 0.79*
	T	9.26 ± 0.39	3.48 ± 0.46	3.62 ± 0.18**	12.74 ± 0.77	2.69 ± 0.29*	3.52 ± 0.17*
8.21	CK	9.16 ± 0.37	3.47 ± 0.42	3.50 ± 0.13	12.63 ± 0.28	2.69 ± 0.43	3.62 ± 0.19
	T	9.24 ± 0.18	3.67 ± 0.55	3.56 ± 0.22	12.91 ± 0.65	2.57 ± 0.38	3.63 ± 0.33

注释: \*表示在  $P < 0.05$  水平, \*\*表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著。

步影响到生态系统的结构和功能[16]。人类活动造成大气氮沉降量快速增加。据分析[17],从1980至2010年的30年,我国大气氮沉降量从  $13.2 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  增加到  $21.1 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。甚至有数据分析表明[18],在我国经济较发达的华北平原,氮总沉降量高达  $80 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。在全球性氮沉降增加的大背景下,远离城市、农田的草原氮沉降量也在增加。据张菊等在太仆寺旗观测[19],内蒙古温带草原氮沉降量达  $3.43 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,其中,湿沉降占44%,气体干沉降占38%,颗粒物干沉降占18%。

濒危植物是环境敏感植物[20],当荒漠草原区氮输入增加时,受影响的首当其冲便是该地区的濒危植物。本实验结果表明,蒙古扁桃对氮素添加很敏感,处理第3天就其叶绿素b、叶绿素总量及叶绿素a/b与对照差异达到显著水平( $p < 0.01$ ),其叶绿素a含量在处理第6天也与对照差异达到显著水平( $p < 0.01$ ),而且这种显著性差异出现在整个实验期间。对比之下,长柄扁桃和榆叶梅对氮素添加的响应相对比较迟缓,出现差异显著时间较晚。值得注意的是,类胡萝卜素属碳氢化合物,不含有氮素。但是氮素添加也明显增加类胡萝卜素含量,而且其含量增加与叶绿素含量变幅有很好的相应性。这说明,氮素添加不仅改变植物氮素代谢,同时也影响植物其他物质代谢。大量研究表明[21][22][23][24],氮沉降能增加植物有效利用氮素,促进光合作用、刺激植物生长。蒙古扁桃、长柄扁桃和榆叶梅均属先开花后展叶,早春开花植物。本实验氮素处理时间为7月中旬和8月初,恰逢这3种植物的结果期和果后期。因此,氮素添加不仅要影响这些植物的营养生长,而且也会影响其生殖生长,对其个体生长发育的影响会更深远。

## 基金项目

内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2015MS0369)。

## 参考文献

- [1] Sun, T., Dong, L.I. and Mao, Z.j. (2015) Simulated Atmospheric Nitrogen Deposition Alters Decomposition of Ephemeral Roots. *Ecosystems*, **18**, 1240-1252. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9895-4>
- [2] Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., et al. (1997) Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, **7**, 737-750. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)
- [3] Harpole, W.S. and Tilman, D. (2007) Grassland Species Loss Resulting from Reduced Niche Dimension. *Nature*, **446**, 791-793. <https://doi.org/10.1038/nature05684>
- [4] Sala, O.E., Chapin, F.S.I., Armesto, J.J., et al. (2000) Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- [5] Wedin, D.A. and Tilman, D. (1996) Influence of Nitrogen Loading and Species Composition on the Carbon Balance of Grasslands. *Science*, **274**, 1720-1723. <https://doi.org/10.1126/science.274.5293.1720>
- [6] Stevens, C.J., Dise, N.B., Mountford, J.O., et al. (2004) Impact of Nitrogen Deposition on the Species Richness of Grasslands. *Science*, **303**, 1876-1879. <https://doi.org/10.1126/science.1094678>
- [7] Foster, B.L. and Gross, K.L. (1998) Species Richness in Successional Grassland: Effects of Nitrogen Enrichment and Plant Litter. *Ecology*, **79**, 2593-2602. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[2593:SRIASG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[2593:SRIASG]2.0.CO;2)
- [8] 苏洁琼, 李新荣, 回嵘, 等. 氮沉降对荒漠化草原草本植物物种多样性和群落组成的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(4): 795-801.
- [9] 薄正熙, 游成铭, 胡中民, 等. 氮素与水分添加对内蒙古温带典型草原生物量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(4): 658-664.
- [10] 张云海, 何念鹏, 张光明, 黄建辉, 等. 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6786-6794.
- [11] 云冬梅, 扬旺林, 王冰利. 和林格尔县近 40 年气候变化浅析[J]. 内蒙古农业科技, 2012(5): 97-98.
- [12] 敖登高娃, 巴雅尔. 和林格尔县土地适宜性评价研究[J]. 内蒙古师大学报(自然科学汉文版), 2000, 29(2): 146-149.
- [13] 杨涵越, 张婷, 黄永梅, 等. 模拟氮沉降对内蒙古克氏针茅草原 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(5):1900-1907.
- [14] 郭春会, 罗梦, 马玉华, 等. 沙地濒危植物长柄扁桃特性研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(12): 125-129.
- [15] 俞德浚. 中国植物志(第 38 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 11-17.
- [16] LeBauer, D.S. and Treseder, K.K. (2008) Nitrogen Limitation of Net Primary Productivity in Terrestrial Ecosystems Is Globally Distributed. *Ecology*, **89**, 371-379. <https://doi.org/10.1890/06-2057.1>
- [17] Liu, X.J., Zhang, Y., Han, W.X., et al. (2013) Enhanced Nitrogen Deposition over China. *Nature*, **494**, 459-462. <https://doi.org/10.1038/nature11917>
- [18] He, C.E., Liu, X.J., Fangmeier, A. and Zhang, F. (2007) Quantifying the Total Airborne Nitrogen Input Into Agroecosystems in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **121**, 395-400. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.016>
- [19] 张菊, 康荣华, 赵斌, 等. 内蒙古温带草原氮沉降的观测研究[J]. 环境科学, 2013, 34(9): 214-218.
- [20] 祖元刚, 张文辉, 闫秀峰, 等. 濒危植物裂叶沙参保护生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [21] Vitousek, P. (1982) Nutrient Cycling and Nutrient Use Efficiency. *American Naturalist*, **119**, 553-572. <https://doi.org/10.1086/283931>
- [22] Field, C.B., Chapin, F.S., Matson, P.A., et al. (1992) Responses of Terrestrial Ecosystems to the Changing Atmosphere—A Resource-Based Approach. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **23**, 201-235.
- [23] Neff, J.C., Townsend, A.R., Gleixner, G., et al. (2002) Variable Effects of Nitrogen Additions on the Stability and Turnover of Soil Carbon. *Nature*, **419**, 915-917. <https://doi.org/10.1038/nature01136>
- [24] Nakaji, T., Fukami, M., Dokiya, Y., et al. (2001) Effects of High Nitrogen Load on Growth, Photosynthesis and Nutrient Status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* Seedlings. *Trees-Structure and Function*, **15**, 453-461.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，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：[hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)