

# 干旱胁迫下不同形态氮素对多年生黑麦草生长、叶片生理和草坪质量的影响

刘容,李振华,张馨馨,王慧慧,刘骐华,柴琦

(兰州大学农业农村部草牧业创新重点实验室,兰州大学草地农业教育部工程研究中心,草地农业科技学院,甘肃兰州 730020)

**摘要:**以多年生黑麦草(*Lolium perenne*)品种绿宝石为供试材料,通过水培试验探究干旱胁迫下氮素形态及其浓度对多年生黑麦草生长、叶片生理和草坪质量的影响。试验设4个干旱水平,3种氮素形态(尿素、硝酸钙、硫酸铵),3种氮素形态分别设5个浓度0、0.4、0.8、1.2、1.6 g/L。结果表明:在干旱胁迫下3种不同形态的氮素均能增加多年生黑麦草的叶片表面积、叶长、叶片相对含水量和叶绿素含量,减小其根冠比和叶片相对电导率。在重度干旱胁迫下,3种氮素形态中,硝酸钙在增大多年生黑麦草地上部分表现最好,1.6 g/L硝酸钙处理的叶表面积和叶片长度较无氮素处理增加了31.04%和53.87%;硫酸铵在降低多年生黑麦草叶片相对电导率和增加叶绿素含量中表现最好,与无氮处理相比分别降低了54.65%和增加了26.51%;而在提高多年生黑麦草叶片相对含水量方面,尿素表现最好,1.6 g/L尿素处理的叶片相对含水量较无氮素处理增加了31.04%。

**关键词:**多年生黑麦草;干旱胁迫;硝酸钙;硫酸铵;尿素

**中图分类号:** S543.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2022)03-0045-09

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.03.006



干旱胁迫是世界上最严重的非生物胁迫之一<sup>[1]</sup>。土壤干旱对植物的影响非常广泛且深刻,它可以表现在生长发育的各个阶段<sup>[2]</sup>,同时还会影响植物的外部形态及多种生理代谢过程。赵春程等<sup>[3]</sup>研究发现,干旱处理下,多年生黑麦草的枯叶率不断提高,草坪均一度、密度、色泽以及质地等迅速降低,多年生黑麦草的草坪质量不断降低。张然等<sup>[4]</sup>对11份草地早熟禾种质材料进行干旱胁迫,发现11份草地早熟禾种质材料叶片相对含水量和叶绿素含量显著降低;此外刘南清等<sup>[5]</sup>同样发现,随着干旱胁迫时间的增加,匍匐剪股

颖叶片的相对电导率持续升高。干旱已经成为限制农业、草坪以及牧草发展的主要因素之一<sup>[6]</sup>。由此,开展缓解干旱胁迫对植物影响的研究,具有重要的意义。

多年生黑麦草(*Lolium perenne*)为禾本科黑麦草属短期多年生草本植物,具有建坪速度快、覆盖能力和抗病虫害能力以及分蘖能力强等特点,是我国北方重要的草坪草种,并可在我国南方用于冬季盖播<sup>[7]</sup>。而我国北方大部分地区干旱缺水,并且由于气候变化加剧,我国南方也开始遭受干旱灾害,导致黑麦草草坪受害严重,草坪质量严重下降,草坪寿命急剧缩短。

氮素是草坪生长发育需要量最多的营养元素<sup>[8]</sup>,影响着草坪草的生长、发育和抗逆性<sup>[9]</sup>。土壤氮含量和水分含量之间的耦合效应显著影响草坪草的生长和抗逆性,江宏娟等<sup>[10]</sup>的研究表明,在干旱环境下,施氮能够在一定程度上降低水分胁迫对植物生长的影响,提高植物对水分胁迫的耐受能力。目前,大多数学者的研究集中在干旱胁迫下,多年生黑麦草在种子

**收稿日期:** 2021-05-12; **修回日期:** 2021-07-23

**基金项目:** 2017N-应用基础研究—农业与社发—民生与社会事业及公众健康“南通耐盐碱草种评定与筛选”项目(MS12017019-2)

**作者简介:** 刘容(1998-),女,重庆奉节人,硕士研究生。

E-mail: liur20@lzu.edu.cn

柴琦为通信作者。E-mail: chaiqi@lzu.edu.cn

萌发、植物生长期生长生理的变化<sup>[11-13]</sup>,但是关于氮素形态及氮素浓度对干旱胁迫下多年生黑麦草的生长特性、叶片生理及草坪质量的影响研究较少。本试验研究了不同形态氮素及浓度对不同干旱胁迫条件下多年生黑麦草生长、叶片生理及草坪质量的影响,以期寻找干旱胁迫下多年生黑麦草适宜施用的氮素形态及浓度,为干旱地区多年生黑麦草草坪的标准化栽培技术推广提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试草种为多年生黑麦草品种绿宝石,由北京猛犸种业有限公司提供。供试聚乙二醇 6000(PEG-6000)由国药集团化学试剂有限公司生产;尿素、硝酸钙、硫酸铵由天津市大茂化学试剂厂生产。

### 1.2 试验方法

试验采用水培法,于2020年12月29日在兰州大学草地农业科技学院进行。用不同浓度PEG-6000溶液模拟4种干旱条件,分别是PEG-6000为0(水分充足)、10%(轻度干旱)、15%(中度干旱)、20%(重度干旱)<sup>[14]</sup>;设3种氮素形态,分别是尿素、硝酸钙、硫酸铵,3种氮素形态分别设5个浓度梯度,分别为0、0.4、0.8、1.2、1.6 g/L。采用随机区组试验设计,共60个处理,重复4次。在一次性塑料杯(高8.5 cm,直径7.5 cm)里面加入等量去氮的1/2霍格兰特营养液,共240杯,在液面上放入较口径略小的海绵,使营养液浸透海绵,之后将用0.1%氯化汞消毒处理10 min的多年生黑麦草种子均匀撒在海绵表面,塑料杯放置于人工气候箱,白天24℃,夜间18℃,12 h光照、12 h黑暗,相对湿度控制在70%左右,光照强度1500~2000 lx进行培养。每天视情况补充一定的营养液,第15 d将黑麦草修剪至5 cm,当天即进行干旱加氮素处理,每周更换1次处理溶液,试验进行到第25天后开始各项指标测定。

### 1.3 指标测定

采用NTEP 9分制打分法测定多年生黑麦草的草坪质量<sup>[15]</sup>;用饱和和相对含水量法测定叶片相对含水量<sup>[16]</sup>;采用叶片浸泡法测定叶片相对电导率<sup>[17]</sup>;采用丙酮乙醇法测定叶绿素含量<sup>[18]</sup>;采用称重法测定根冠比<sup>[19]</sup>;采用仪器扫描测定叶面积、叶宽。每处理选取

有代表性的10片生长均匀一致的叶片,用HP-C7717Singaporean 仪器进行扫描,Delta-TSCAN 分析系统分析。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2010进行数据统计与制图,采用IBM SPSS Statistics 23.0统计软件进行显著性(SSR)Duncan分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫下不同氮素对多年生黑麦草草坪质量的影响

3种不同氮素处理的多年生黑麦草草坪质量均随干旱胁迫程度的增加而降低。当胁迫程度较轻时,草坪质量变化较为平缓,氮素添加对草坪质量的影响不显著( $P>0.05$ )。随着胁迫程度加重至重度胁迫(20%)时,3种氮素处理下的多年生黑麦草的草坪质量都处于5分左右,且添加氮素处理的多年生黑麦草的草坪质量均显著高于未添加氮素仅干旱胁迫处理( $P<0.05$ ),3种氮素中,硫酸铵更有利于缓解干旱胁迫,提高干旱胁迫下的草坪质量(图1)。

### 2.2 干旱胁迫下不同氮素对多年生黑麦草生长特性的影响

随着干旱程度的增加,除PEG浓度15%、1.2 g/L的尿素处理外,其他处理多年生黑麦草叶片表面积和叶片长度呈下降趋势,而在同一干旱程度下,随着尿素浓度的增加,叶表面积和叶片长度呈上升趋势。当水分充足时,3种氮素中1.6 g/L的硝酸钙对增大多年生黑麦草叶表面积和叶长效果最好,且1.6 g/L硝酸钙处理的叶表面积和叶片长度较无氮素处理的增加了36.20%和45.19%。在轻度干旱胁迫下,1.6 g/L的尿素在增大叶表面积上优于硫酸铵;1.6 g/L的硝酸钙在增加叶长上显著优于硫酸铵。在重度干旱胁迫下,添加1.6 g/L的硝酸钙更有利于缓解干旱胁迫,提高干旱胁迫下的叶表面积和叶长,且1.6 g/L氮素处理的叶表面积和叶片长度较无氮素处理的增加了31.04%和53.87%(表1-3)。

根冠比能反映生物量在植株内的分配比例,是用来衡量草坪抗性和对所处环境适应性能力强弱的指标<sup>[20]</sup>。在没有干旱胁迫或胁迫程度较轻时,多年生黑麦草的根冠比均随着氮素浓度的增加而降低,且与

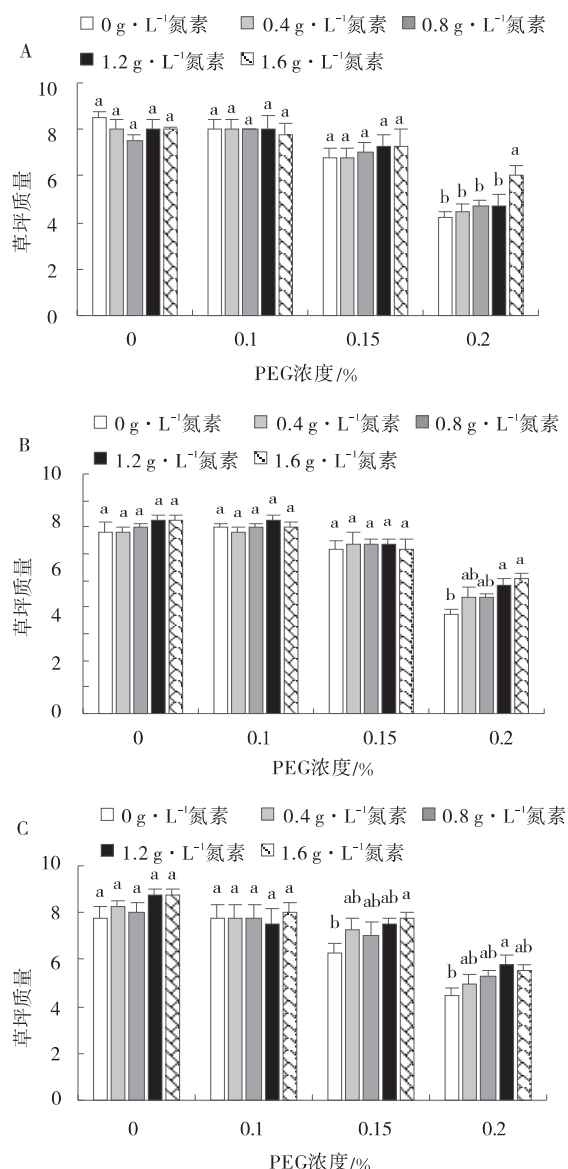


图1 干旱胁迫下不同氮素添加下多年生黑麦草草坪质量

Fig. 1 Effects of different nitrogen addition on quality of perennial ryegrass turf under drought stress

注:不同小写字母表示同一干旱胁迫下不同浓度氮素处理之间差异显著( $P < 0.05$ );A、B、C图分别表示不同浓度的尿素、硝酸钙与硫酸铵对多年生黑麦草的影响。下同

0 g/L氮素的处理差异显著( $P < 0.05$ );在中度和重度干旱胁迫下,多年生黑麦草的根冠比则随着氮素浓度的增加而提高,当氮素浓度为1.6 g/L时,3种氮素中硫酸铵在增大植物根冠比中更有效,1.6 g/L硫酸铵处理的根冠比较无氮素处理分别增大了71.02%和58.22%。

### 2.3 干旱胁迫下不同浓度不同形态氮素对多年生黑麦草叶片生理特性的影响

#### 2.3.1 干旱胁迫下不同氮素对多年生黑麦草叶片相

对含水量的影响 叶片相对含水量是指当某种植物处于干旱胁迫的环境条件时,叶片含水量与此叶片水分充分饱和时的最大含水量的比值,能够反应植物抗旱性的强弱,其值越大,则抗旱保水能力越强<sup>[21]</sup>。对叶片相对含水量的三因素方差分析结果(表4)可知,就叶片相对含水量而言,不同干旱程度和氮素浓度间差异显著,而3种形态氮素之间差异不显著。对多年生黑麦草进行干旱处理后,3种氮素处理的多年生黑麦草叶片相对含水量均随着干旱胁迫程度升高而逐渐降低(图2)。当干旱胁迫程度较轻时,不同浓度的氮素处理下,叶片相对含水量没有显著差异( $P > 0.05$ ),3种氮素中硫酸铵效果最好,1.6 g/L硫酸铵处理的叶片相对含水量相比尿素、硝酸钙处理的分别增加了7.88%和8.96%;在中度干旱胁迫时,不同浓度尿素处理下,多年生黑麦草的叶片相对含水量有差异,但在不同浓度的硝酸钙和硫酸铵的处理下差异不显著。在重度干旱胁迫下,3种氮素处理的多年生黑麦草的叶片相对含水量与同组对照相比均显著增加了,且在氮素浓度为1.6 g/L时,叶片相对含水量最大,与同组对照相比,3种不同氮素处理的叶片相对含水量分别增加了16.02%(1.6 g/L尿素)、4.03%(1.6 g/L硝酸钙)、7.78%(1.6 g/L硫酸铵)。

#### 2.3.2 干旱胁迫下不同氮素对多年生黑麦草叶片相对电导率的影响

逆境条件下细胞膜透性会发生改变或丧失,因此膜透性常被作为植物抗性研究中的重要生理指标<sup>[22]</sup>。相对电导率越小,说明逆境条件下植物受到的影响越小。不同干旱程度和不同氮素浓度间的叶片相对电导率均有显著差异,而不同氮素之间差异不显著(表5)。对多年生黑麦草进行干旱处理后,3种氮素处理的多年生黑麦草叶片相对电导率均随着干旱胁迫程度升高而逐渐增大(图3)。在轻度干旱胁迫下,经过不同浓度硝酸钙处理的叶片的相对电导率显著低于未经硝酸钙处理的叶片,在0.8 g/L的硝酸钙处理下,与未经硝酸钙处理的叶片相比,叶片的相对电导率下降了43.26%,且3种氮素中尿素效果更好。在中度干旱胁迫下,在1.6 g/L的尿素、硝酸钙和硫酸铵处理下,与未经氮素处理的叶片相比,叶片的相对电导率分别下降了41.84%、67.39%和45.29%。在重度干旱胁迫下,在1.6 g/L的尿素、硝酸钙和硫酸铵处理下,与未经氮素处理的叶片相比,

表1 干旱胁迫下多年生黑麦草在尿素处理后的生长状况

Table 1 Growth of perennial ryegrass under drought stress after urea treatment

PEG 浓度/%	氮素浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	叶片面积/mm <sup>2</sup>	叶片长度/mm	根冠比
0	0	293.66±34.83 <sup>b</sup>	292.15±30.39 <sup>b</sup>	24.27±0.03 <sup>ab</sup>
	0.4	353.11±25.04 <sup>ab</sup>	370.73±22.13 <sup>ab</sup>	21.67±0.02 <sup>ab</sup>
	0.8	376.96±29.51 <sup>ab</sup>	385.37±37.88 <sup>ab</sup>	36.84±0.02 <sup>a</sup>
	1.2	388.45±39.92 <sup>ab</sup>	438.60±69.92 <sup>a</sup>	19.19±0.03 <sup>ab</sup>
	1.6	429.95±15.66 <sup>a</sup>	484.42±21.88 <sup>a</sup>	13.05±0.01 <sup>b</sup>
10	0	328.83±12.28 <sup>b</sup>	356.91±17.51 <sup>b</sup>	23.47±0.11 <sup>ab</sup>
	0.4	373.88±40.62 <sup>ab</sup>	400.05±21.39 <sup>ab</sup>	23.45±0.04 <sup>ab</sup>
	0.8	382.31±52.20 <sup>ab</sup>	410.25±51.97 <sup>ab</sup>	21.95±0.03 <sup>ab</sup>
	1.2	396.20±24.20 <sup>ab</sup>	464.53±24.35 <sup>a</sup>	19.45±0.01 <sup>ab</sup>
	1.6	478.58±13.74 <sup>a</sup>	443.23±9.56 <sup>ab</sup>	18.25±0.02 <sup>b</sup>
15	0	280.92±14.27 <sup>b</sup>	306.26±11.45 <sup>b</sup>	19.02±0.03 <sup>a</sup>
	0.4	324.55±19.54 <sup>b</sup>	350.01±17.92 <sup>ab</sup>	22.41±0.03 <sup>a</sup>
	0.8	335.18±32.05 <sup>b</sup>	350.79±3.02 <sup>ab</sup>	22.92±0.01 <sup>a</sup>
	1.2	448.50±41.39 <sup>a</sup>	415.34±54.38 <sup>a</sup>	22.43±0.02 <sup>a</sup>
	1.6	383.80±47.26 <sup>ab</sup>	443.96±12.77 <sup>a</sup>	29.45±0.04 <sup>b</sup>
20	0	261.42±19.81 <sup>c</sup>	316.89±19.90 <sup>bc</sup>	18.28±0.06 <sup>a</sup>
	0.4	271.66±4.30 <sup>bc</sup>	283.34±19.01 <sup>c</sup>	22.40±0.02 <sup>a</sup>
	0.8	279.24±19.89 <sup>bc</sup>	319.41±2.41 <sup>bc</sup>	20.16±0.04 <sup>a</sup>
	1.2	324.43±27.72 <sup>ab</sup>	338.89±18.54 <sup>b</sup>	20.17±0.02 <sup>a</sup>
	1.6	342.98±15.98 <sup>a</sup>	404.62±10.56 <sup>a</sup>	31.48±0.04 <sup>b</sup>

注:同列不同小写字母表示相同干旱胁迫水平下不同浓度氮素之间差异显著性( $P<0.05$ )。下同

表2 干旱胁迫下多年生黑麦草在硝酸钙处理后的生长状况

Table 2 Growth of perennial ryegrass under drought stress after calcium nitrate treatment

PEG 浓度/%	氮素浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	叶片面积/mm <sup>2</sup>	叶片长度/mm	根冠比
0	0	296.54±14.6 <sup>b</sup>	302.39±18.19 <sup>c</sup>	24.21±0.03 <sup>a</sup>
	0.4	337.06±19.33 <sup>b</sup>	355.51±14.92 <sup>bc</sup>	22.03±0.01 <sup>ab</sup>
	0.8	409.63±21.877 <sup>a</sup>	418.55±22.46 <sup>b</sup>	19.19±0.03 <sup>ab</sup>
	1.2	414.95±7.27 <sup>a</sup>	430.95±22.89 <sup>b</sup>	10.47±0.01 <sup>bc</sup>
	1.6	464.18±38.84 <sup>a</sup>	551.62±44.49 <sup>a</sup>	15.09±0.03 <sup>b</sup>
10	0	312.32±19.20 <sup>b</sup>	312.19±18.08 <sup>a</sup>	21.62±0.06 <sup>a</sup>
	0.4	327.84±19.65 <sup>b</sup>	337.86±9.12 <sup>a</sup>	18.04±0.03 <sup>ab</sup>
	0.8	389.32±26.83 <sup>ab</sup>	374.06±13.19 <sup>a</sup>	17.68±0.03 <sup>ab</sup>
	1.2	373.04±18.65 <sup>b</sup>	386.34±111.82 <sup>a</sup>	16.50±0.01 <sup>ab</sup>
	1.6	457.03±35.03 <sup>a</sup>	449.44±12.72 <sup>a</sup>	8.76±0.01 <sup>b</sup>
15	0	281.65±35.38 <sup>c</sup>	286.42±17.68 <sup>c</sup>	21.03±0.03 <sup>a</sup>
	0.4	272.77±13.73 <sup>c</sup>	349.08±11.15 <sup>b</sup>	18.54±0.01 <sup>a</sup>
	0.8	340.64±25.53 <sup>bc</sup>	478.93±16.61 <sup>a</sup>	20.15±0.03 <sup>a</sup>
	1.2	372.67±10.59 <sup>ab</sup>	368.87±28.04 <sup>b</sup>	24.85±0.18 <sup>a</sup>
	1.6	409.71±12.23 <sup>a</sup>	374.53±9.59 <sup>b</sup>	35.20±0.07 <sup>b</sup>
20	0	291.16±17.68 <sup>b</sup>	268.79±24.94 <sup>b</sup>	18.62±0.03 <sup>a</sup>
	0.4	296.06±18.15 <sup>b</sup>	361.70±7.87 <sup>ab</sup>	17.70±0.01 <sup>a</sup>
	0.8	297.57±38.91 <sup>b</sup>	449.10±49.10 <sup>ab</sup>	19.55±0.04 <sup>a</sup>
	1.2	344.60±18.87 <sup>ab</sup>	361.70±7.88 <sup>ab</sup>	21.38±0.02 <sup>a</sup>
	1.6	422.77±51.65 <sup>a</sup>	581.60±138.24 <sup>a</sup>	27.04±0.09 <sup>b</sup>

表 3 干旱胁迫下多年生黑麦草在硫酸铵处理后的生长状况

Table 3 Growth of perennial ryegrass after ammonium sulfate treatment under drought stress

PEG 浓度/%	氮素浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	叶片面积/mm <sup>2</sup>	叶片长度/mm	根冠比
0	0	310.14±16.24 <sup>b</sup>	314.76±20.60 <sup>c</sup>	32.49±0.05 <sup>a</sup>
	0.4	346.55±39.93 <sup>b</sup>	357.07±23.60 <sup>bc</sup>	16.53±0.01 <sup>b</sup>
	0.8	357.79±27.00 <sup>b</sup>	362.30±39.65 <sup>bc</sup>	15.08±0.03 <sup>b</sup>
	1.2	368.12±10.39 <sup>ab</sup>	393.44±57.72 <sup>b</sup>	14.91±0.02 <sup>b</sup>
	1.6	443.62±25.60 <sup>a</sup>	478.55±11.98 <sup>a</sup>	10.40±0.01 <sup>b</sup>
10	0	297.00±15.29 <sup>b</sup>	300.32±19.62 <sup>b</sup>	19.76±0.03 <sup>b</sup>
	0.4	338.51±12.92 <sup>ab</sup>	376.78±29.79 <sup>b</sup>	20.70±0.10 <sup>b</sup>
	0.8	379.22±55.66 <sup>ab</sup>	468.19±15.06 <sup>a</sup>	18.69±0.04 <sup>b</sup>
	1.2	422.28±8.66 <sup>a</sup>	348.27±11.44 <sup>b</sup>	18.38±0.02 <sup>b</sup>
	1.6	355.40±42.84 <sup>ab</sup>	376.45±47.86 <sup>b</sup>	33.71±0.26 <sup>a</sup>
15	0	294.79±23.13 <sup>b</sup>	286.25±12.82 <sup>c</sup>	8.24±0.02 <sup>a</sup>
	0.4	347.53±20.21 <sup>ab</sup>	371.82±15.64 <sup>b</sup>	10.73±0.01 <sup>a</sup>
	0.8	354.19±19.79 <sup>ab</sup>	376.37±21.68 <sup>b</sup>	17.56±0.02 <sup>a</sup>
	1.2	373.77±17.33 <sup>a</sup>	384.62±10.30 <sup>b</sup>	16.31±0.02 <sup>a</sup>
	1.6	392.53±16.13 <sup>a</sup>	435.21±14.20 <sup>a</sup>	25.60±0.06 <sup>b</sup>
20	0	274.25±33.33 <sup>b</sup>	307.71±14.85 <sup>b</sup>	15.08±0.02 <sup>b</sup>
	0.4	270.03±20.55 <sup>b</sup>	357.01±27.66 <sup>ab</sup>	19.60±0.02 <sup>a</sup>
	0.8	319.54±42.32 <sup>ab</sup>	406.75±5.01 <sup>a</sup>	19.73±0.02 <sup>a</sup>
	1.2	340.56±13.31 <sup>ab</sup>	317.30±25.26 <sup>b</sup>	23.21±0.04 <sup>a</sup>
	1.6	379.61±13.89 <sup>a</sup>	365.93±8.49 <sup>ab</sup>	23.86±0.02 <sup>a</sup>

表 4 多年生黑麦草叶片相对含水量干旱胁迫程度、氮素形态、氮素浓度三因素方差分析结果

Tab. 4 Three-factor analysis of variance of relative water content of perennial ryegrass leaves under drought stress, nitrogen form and nitrogen concentration

源	III 类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	636.921 <sup>a</sup>	9	70.769	6.15	0
截距	448 895.54	1	448 895.54	39 008.914	0
干旱胁迫程度	328.843	3	109.614	9.525	0
氮素形态	12.378	2	6.189	0.538	0.587
氮素浓度	295.7	4	73.925	6.424	0
误差	575.376	50	11.508		
总计	450 107.836	60			
修正后总计	1 212.297	59			

注:a:R<sup>2</sup>=0.525(调整后 R<sup>2</sup>=0.440)

叶片的相对电导率分别下降了 34.24%、48.12% 和 54.65%，结果表明，在中度干旱和重度干旱胁迫下，硝酸钙和硫酸铵降低叶片相对电导率效果比尿素更好。

2.3.3 干旱胁迫下不同氮素对多年生黑麦草叶绿素含量的影响 对多年生黑麦草的叶绿素含量的三因素方差分析结果(表 6)可知,不同干旱程度、不同氮素形态和氮素浓度间均差异显著。对多年生黑麦草进

行干旱处理后,其叶绿素含量逐渐降低,并且随着干旱胁迫程度的增加,叶绿素含量降低幅度增大(图 4)。在不同浓度尿素、硝酸钙和硫酸铵的处理下,不论干旱胁迫程度的轻重,加氮均能增加多年生黑麦草的叶绿素含量,且在加氮量为 1.6 g/L 时,叶绿素含量达到最高。而在 3 种不同形态的氮素中,硝酸钙和硫酸铵对增加叶绿素含量的效果显著优于尿素。

### 3 讨论

#### 3.1 干旱胁迫下不同形态不同浓度氮素对多年生黑麦草草坪生长、叶片生理及草坪质量特性的影响

施肥是草坪养护管理中最有效、最经济的手段之一<sup>[23]</sup>。在所需要的营养中,草坪草对氮肥的需要量比大多数植物或作物的需要量大<sup>[24]</sup>,氮肥在草坪的生长发育过程中起着主导作用<sup>[25]</sup>。水分和氮素是影响植物生长发育的两个关键因素,水分可以运输养分,促进氮素的转化,同时氮素也可以调节土壤水分,促进植物吸水能力。随着水分和肥料对植物影响的研究深入,发现水分和肥料之间会相互作用,并有了“以肥调水、以水促肥”的说法<sup>[26]</sup>。本研究中,随着干旱胁迫程度的加深,多年生黑麦草草坪质量逐渐下降,在重

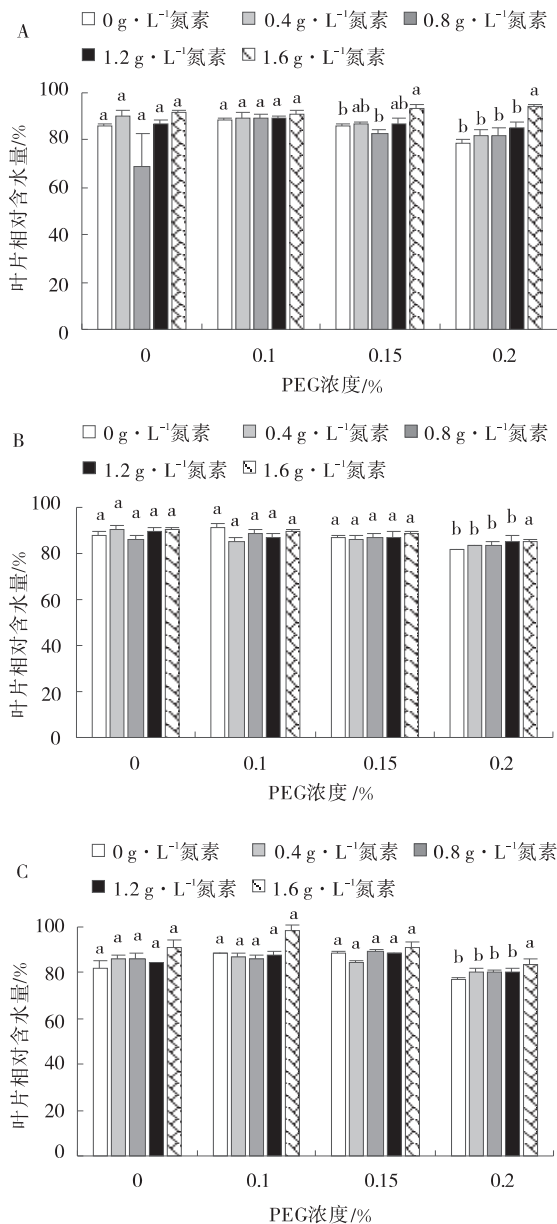


图2 干旱胁迫下不同氮素添加的多年生黑麦草叶片相对含水量

Fig. 2 Effects of different nitrogen additions on relative water content of perennial ryegrass leaves under drought stress

度干旱胁迫下,草坪质量随施氮量的增加而改善,这与 Yeam D Y<sup>[27]</sup>的研究结果一致。在4种干旱胁迫处理下,随着氮素浓度增加,多年生黑麦草的叶面积、叶长均成上升趋势,说明氮素在一定程度上能够缓解干旱胁迫对多年生黑麦草地上部分的影响,这与亢亚超<sup>[28]</sup>、Lawson等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。根系是植物吸收利用养分的关键部位,根冠比的大小反映了植物干物质积累方向及地上和地下的相互关系<sup>[30]</sup>。有研究<sup>[31]</sup>表明,根冠比反映了植物对资源的分配状况,其比值的降低表明了氮添加条件下植物将更多资源

表5 多年生黑麦草叶片相对电导率干旱胁迫程度、氮素形态、氮素浓度三因素方差分析结果

Table 5 Three-factor analysis of variance of relative conductivity of perennial ryegrass leaves under drought stress, nitrogen form and nitrogen concentration

源	III类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	1 155.117 <sup>a</sup>	9	128.346	8.683	0
截距	29 614.817	1	29 614.817	2 003.528	0
干旱胁迫程度	214.05	3	71.35	4.827	0.005
氮素形态	161.633	2	80.817	5.467	0.007
氮素浓度	779.433	4	194.858	13.183	0
误差	739.067	50	14.781		
总计	31509	60			
修正后总计	1 894.183	59			

注:a  $R^2=0.610$ (调整后 $R^2=0.540$ )

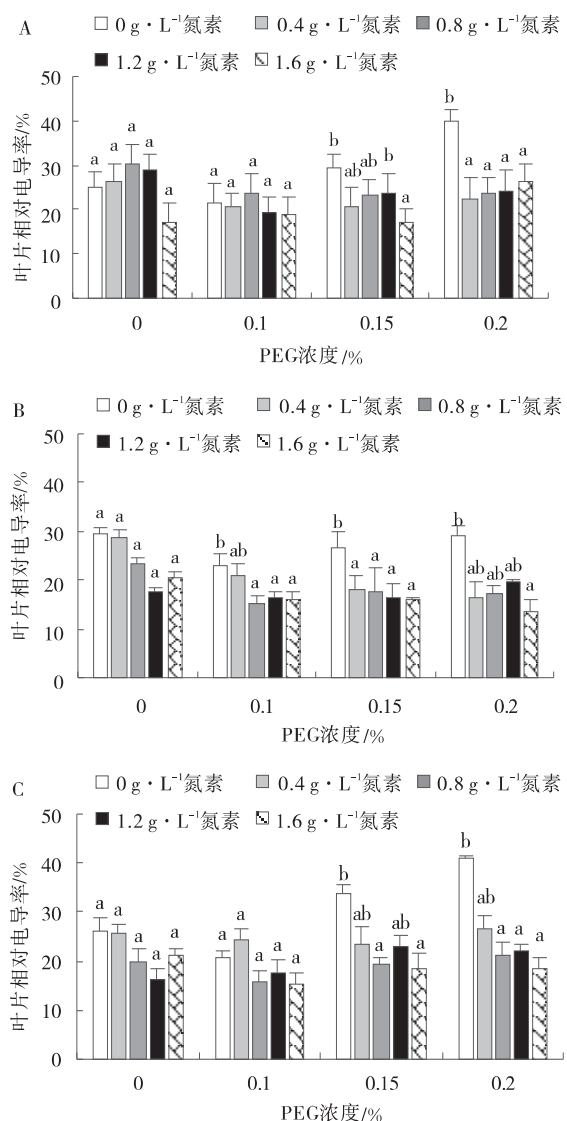


图3 干旱胁迫下不同氮素添加的多年生黑麦草叶片相对电导率

Fig. 3 Effects of different nitrogen additions on relative conductivity of perennial ryegrass leaves under drought stress

表 6 多年生黑麦草叶绿素含量干旱胁迫程度、氮素形态、氮素浓度三因素方差分析结果

Table 6 Three-factor analysis of variance of chlorophyll content in perennial ryegrass under drought stress degree, nitrogen form and nitrogen concentration

源	III 类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	0.565 <sup>a</sup>	9	0.063	9.925	0
截距	78.165	1	78.165	12367.122	0
干旱胁迫程度	0.057	3	0.019	2.98	0.04
氮素形态	0.024	2	0.012	1.903	0.16
氮素浓度	0.484	4	0.121	19.145	0
误差	0.316	50	0.006		
总计	79.045	60			
修正后总计	0.881	59			

注:a  $R^2=0.641$ (调整后  $R^2=0.577$ )

分配给地上部分。本试验中,当没有干旱胁迫及轻度干旱时,施加氮能够减小植物的根冠比,有利于植物地上物质的积累;当胁迫程度为中度、重度干旱胁迫时,施加氮能够增大植物的根冠比,说明当植物生长受到水分限制时碳分配由植物茎叶部转向根部,用以提高植物的水分吸收能力,这与景明慧等<sup>[32]</sup>的研究结果一致。

当植物遭受到逆境胁迫时细胞膜会受到损坏,细胞膜的透性增加、选择透过性功能丧失,导致细胞内的电解质外泄,因此植物的相对电导率可以间接反映细胞膜的受损程度<sup>[33]</sup>。在重度干旱胁迫下,1.6 g/L 的氮素显著降低了多年生黑麦草叶片的相对电导率 ( $P<0.05$ ),说明施加氮素能够缓解干旱胁迫对其细胞膜的损害,且添加 1.6 g/L 的氮素也显著提高了其叶片相对含水量,这说明施氮能够增加植物的保水能力、渗透调节能力,这些对提高植物的抗旱能力都是有利的。叶绿素是植物主要光合色素之一,光合色素的含量会影响植物的光合作用,影响植物对光能的转化<sup>[34]</sup>。氮在叶绿素合成过程中起着至关重要的作用,缺氮将导致叶绿素含量降低。本研究表明,添加氮素能显著提高多年生黑麦草的叶绿素含量 ( $P<0.05$ ),在施氮量为 1.6 g/L 时,叶片叶绿素含量达到最高。

### 3.2 干旱胁迫下三种形态氮素对多年生黑麦草生长、叶片生理及草坪质量影响的综合评价

本试验单施 3 种形态的氮素在不同程度的干旱胁迫下均能增加多年生黑麦草的叶片表面积、叶长,在重度干旱胁迫下,尤以硝酸钙效果最好,这可能是因

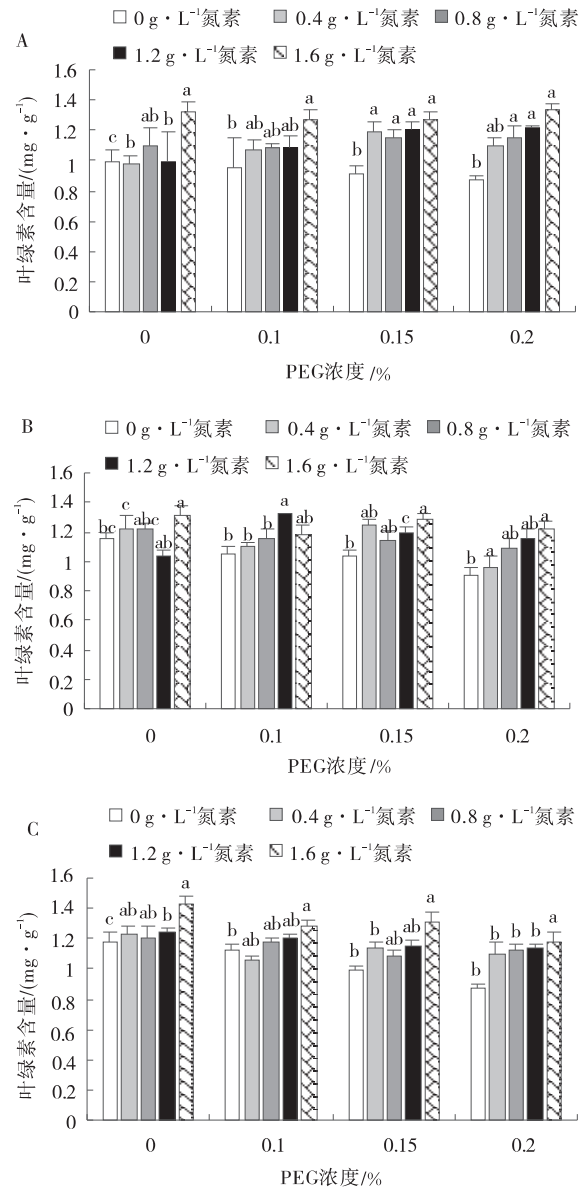


图 4 干旱胁迫下不同氮素添加的多年生黑麦草叶片叶绿素含量

Fig. 4 Effects of different nitrogen additions on chlorophyll content of perennial ryegrass leaves under drought stress

为硝酸钙中含有钙离子,能够维持叶片细胞正常的形态结构,提高气孔密度和气孔指数,从而减小干旱胁迫对植物造成的伤害,增加植物的抗旱性。重度干旱胁迫下,对于降低多年生黑麦草的叶片相对电导率以及增加叶绿素含量,3 种氮素中硫酸铵表现最好,这与勾启萤等<sup>[35]</sup>关于不同铵硝比对生菜叶绿素合成的影响研究结果一致。而在提高多年生黑麦草叶片相对含水量方面,尿素表现最好,这可能是因为尿素是酰胺态氮肥,在土壤中脲酶的作用下,先转变为  $\text{NH}_4^+$ -N,然后被植物吸收利用<sup>[36]</sup>,维持了细胞内渗透压平

衡,从而提高了多年生黑麦草的抗逆性<sup>[37]</sup>。

### 3 结论

3种不同形态的氮素在干旱胁迫下均能增大多年生黑麦草的叶片表面积、叶长,减小其根冠比;同时均能增加多年生黑麦草的叶片相对含水量和叶绿素含量,降低叶片相对电导率。在重度干旱胁迫下,3种形态氮素中,硝酸钙处理下多年生黑麦草叶表面积、叶长度表现最好,1.6 g/L 硝酸钙处理的叶表面积和叶片长度较无氮素处理的增加了31.04%和53.87%。硫酸铵在降低多年生黑麦草叶片相对电导率和增加叶绿素含量中表现最好,与无氮处理相比分别降低了54.65%和增加了26.51%;而在提高多年生黑麦草叶片相对含水量方面,尿素表现最好,1.6 g/L 尿素处理的叶片相对含水量较无氮素处理增加31.04%。

#### 参考文献:

- [1] 胡守景,张治礼,黄荣峰. 植物应答干旱胁迫的基因表达调控[J]. 中国农业科技导报,2008,10(4):1-6.
- [2] 王霞,侯平,尹林克. 植物对干旱胁迫的适应机理[J]. 干旱区研究,2001,18(2):42-46.
- [3] 赵春程. 多年生黑麦草干旱胁迫生理应答机理研究[D]. 烟台:鲁东大学,2020.
- [4] 张然,李佳缙,王铭,等. 11份草地早熟禾种质材料对PEG-6000胁迫的生理响应和耐旱性评价[J]. 草原与草坪,2021,41(2):113-121.
- [5] 刘南清,林绍艳,周兴元. 6个匍匐剪股颖种质对干旱胁迫的生理响应与耐旱性评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(1):118-125.
- [6] Wang W, Vinocur B, Shoseyov O, *et al.* Biotechnology of plant osmotic stress tolerance physiological and molecular considerations[J]. Acta Horticulture,2000,560:285-292.
- [7] 张馨馨,刘璐,陆妮,等. 叶面喷施生长延缓剂对多年生黑麦草生长及生理的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(4):47-53.
- [8] Turgeon A J. Turfgrass management. Revised edition [M]. Reston Publishing Co., Inc. 1985.
- [9] 沈荣开,王康,张瑜芳,等. 水肥耦合条件下作物产量、水分利用和根系吸氮的试验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):35-38.
- [10] 江宏娟,李建龙,李良霞. 高温胁迫下水肥耦合对高羊茅生态性状的影响[J]. 草业科学,2009,26(7):152-157.
- [11] 张馨馨,刘璐,陆妮,等. 叶面喷施生长延缓剂对多年生黑麦草生长及生理的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(4):47-53.
- [12] 万里强,李向林,石永红,等. PEG胁迫下4个黑麦草品种生理生化指标响应与比较研究[J]. 草业学报,2010,19(1):83-88.
- [13] 黄玉婷,王栋麟,张卫红,等. 铝胁迫下柠檬酸对多年生黑麦草种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 草原与草坪,2019,39(1):54-59.
- [14] 任响霏. 模拟干旱条件下钾镁素配比对高羊茅生长的影响[D]. 兰州:兰州大学,2017.
- [15] 刘杰,江生泉. 3种草坪草在滁州地区成坪质量比较研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2018,36(4):83-86.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:261-263.
- [17] 陈爱葵,韩瑞宏,李东洋,等. 植物叶片相对电导率测定方法比较研究[J]. 广东第二师范学院学报,2010,30(5):88-91.
- [18] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学,1986(3):28-30.
- [19] 郝再彬. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.
- [20] 葛晋纲,蔡庆生,周兴元,等. 不同灌溉处理对两种草坪草根特征的影响及其与抗旱性的关系[J]. 江苏农业科学,2004,4(6):104-107.
- [21] 田永雷,白春利,丁海君,等. 不同品种老芒麦对干旱胁迫的生理响应[J]. 草原与草坪,2021,41(2):70-74.
- [22] 张颖,杨迎霞,郑艳红,等. 利用离体叶片鉴定杨树耐盐潜力[J]. 植物学报,2011,46(3):302-310.
- [23] 黄必志. 草坪营养与施肥[M]. 北京:中国林业出版社,1999.
- [24] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [25] 韩烈保. 运动场草坪最佳坪床结构的研究[J]. 草业学报,1993,2(9):53-58.
- [26] 王秀波,上官周平. 干旱胁迫下氮素对不同基因型小麦根系活力和生长的调控[J]. 麦类作物学报,2017,37(6):820-827.
- [27] Yeam D Y. Effect of fertilizer application on seed production in zoysiagrass[J]. Journal of the Korean Society for Horticultural Science,1997,28(2):55-57.
- [28] 亢亚超. 氮磷钾配比施肥对观光木幼苗生长生理及光合特性的影响[D]. 南宁:广西大学,2020.
- [29] Lawson. Carbohydrate accumulation in relation to ammonium sulphate and IBDU nitrogen sources[J]. Journal of the Sports Turf Research Institute,2000(65):140-149.



- [30] 王玉强,沈宇,钱进,等. 不同形态氮肥对紫花苜蓿生长、硝酸盐转运蛋白基因 MtNRT1.3 表达及氮吸收的影响[J]. 草地学报,2019,27(5):1172-1180.
- [31] Vico G,Manzoni S,Nkurunziza L,*et al.* Trade-offs between seed output and life span: A quantitative comparison of traits between annual and perennial congeneric species[J]. *New Phytologist*,2016,209:104-114.
- [32] 景明慧,贾晓彤,张运龙,等. 长期氮添加对内蒙古典型草原植物地上、地下生物量及根冠比的影响[J]. 生态学杂志,2020,39(10):3185-3193.
- [33] 赵永平,张毅,朱亚,等. 施氮对不同干旱胁迫条件下紫苏幼苗生理特性的影响[J]. 江西农业学报,2020,32(4):61-66.
- [34] 吴成龙,尹金来,徐阳春,等. 碱胁迫对菊芋幼苗生长及其光合作用和抗氧化作用的影响[J]. 西北植物学报,2006(3):447-454.
- [35] 勾启萤,刘宁,韩莹琰,等. 不同铵硝比对生菜叶绿素合成的影响[J]. 北京农学院学报,2020,35(2):53-58.
- [36] 王丽,邹茸,王秀斌,等. 不同氮肥品种对不同类型土壤苋菜镉累积的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020(3):29-35.
- [37] 李祎,杨顺瑛,郝东利,等. 外源蔗糖对高  $\text{NH}_4^+$  胁迫下拟南芥碳氮代谢的影响[J]. 土壤,2020,52(6):1120-1128.

## Effects of different nitrogen forms on growth, leaf physiology and lawn quality of *Lolium perenne* under drought stress

LIU Rong, LI Zhen-hua, ZHANG Xin-xin, WANG Hui-hui, LIU Qi-hua, CHAI Qi  
(Key Laboratory of Grassland and Animal Husbandry Innovation of Ministry of Agriculture and Rural Areas, Lanzhou University, Engineering Research Center of Grassland Agriculture Ministry of Education of Lanzhou University/School of Grassland Agriculture Science and Technology, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The effects of nitrogen form and concentration on the growth, leaf physiology and lawn quality of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) under drought stress were investigated by hydroponic experiment. In the experiment, four drought levels were set, three nitrogen forms (urea, calcium nitrate, ammonium sulfate) were set, and the concentrations of three forms of nitrogen were 0, 0.4, 0.8, 1.2 and 1.6 g/L, respectively. The results showed that three different forms of nitrogen could increase the leaf surface area, leaf length, relative water content and chlorophyll content of perennial ryegrass, while decrease its root-shoot ratio and the relative conductivity of perennial ryegrass under drought stress, among which 1.6 g/L nitrogen concentration was the best. The results also demonstrated that under severe drought stress, among the three forms of nitrogen, calcium nitrate showed the best performance in increasing the above-ground part of perennial ryegrass. The leaf surface area and leaf length under 1.6 g/L calcium nitrate treatment increased by 31.04% and 53.87% compared with those without nitrogen treatment. Ammonium sulfate had the best effect in decreasing relative electrical conductivity and increasing chlorophyll content of perennial ryegrass leaves, which decreased by 54.65% and increased by 26.51%, respectively, compared with nitrogen free treatment. However, Urea was the best in increasing relative water content of perennial ryegrass leaves. The relative water content of perennial ryegrass leaves was increased by 31.04% in 1.6 g/L urea treatment compared with no nitrogen treatment.

**Key words:** perennial ryegrass; drought stress; nitrogen forms