

氮素对巨菌草苗期生长和光合生理特性的影响

刘宏伟^{1,2}, 张榕容¹, 刘艳玲^{1,2}, 谢长海^{1,2}, 林辉^{1,2}, 林占熿^{1,2}

(1. 福建农林大学 生命科学学院, 福建 福州 350002; 2. 国家菌草工程技术研究中心, 福建 福州 350002)

摘要:以巨菌草为试材, 采用水培方法, 研究了不同浓度的氮素对巨菌草苗期生长和光合生理特性的影响。结果表明: 随着氮素浓度的增加, 株高、根总长、根表面积、根体积、分根数、根尖数呈先升后降的趋势, 叶片数、叶面积、茎粗则呈上升趋势; 净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)先增大后减小, 胞间 CO₂ 浓度(Ci)则逐渐降低; 光合色素、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量, 过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升后降的趋势, 硝态氮(NO₃⁻-N)含量、过氧化氢酶(CAT)活性呈上升趋势, 丙二醛(MDA)含量呈下降趋势。研究表明, 适量的氮素供应(5.00~10.00 mmol/L)可以促进植株生长, 提高光合能力, 增加渗透调节物质含量、减少MDA含量及提高抗氧化酶活性, 有利于植株生长并增强了其抵抗逆境胁迫的能力, 氮素供应不足(0.00~0.50 mmol/L)或过量(15.00 mmol/L)均不同程度限制了植株的正常生长及生理代谢活动。

关键词:巨菌草; 氮素水平; 生长特性; 光合作用; 渗透调节; 膜脂过氧化

中图分类号:Q 945.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)08-0133-06

1986年, 福建农林大学林占熿等人发明了菌草技术(Juncao Technology), 经过20多年的发展, 现已形成了配套的综合技术^[1]。菌草(Juncao)是指可作为食用菌、药用菌等微生物培养基并具有综合开发利用价值的草本植物^[2]。巨菌草(*Pennisetum* sp.)属被子植物门单子叶植物纲禾本科狼尾草属, 是典型的C₄植物, 适宜在热带、亚热带、温带生长, 株高一般为3~5 m, 分蘖能力强, 根系发达, 年产鲜草达200 t/hm²以上, 粗蛋白含量高^[2]。2005年, 福建农林大学菌草研究所与南非夸祖鲁奈塔尔省合作, 引进该草种, 并作为高产、优质菌草推广, 目前已经在我国福建、海南、浙江、宁夏、新疆等省, 以及巴布亚新几内亚、卢旺达、莱索托等国家种植^[1]。

氮是合成蛋白质、叶绿素、核酸、维生素、激素等有机化合物的重要组分, 其作用仅次于水^[3]。适量的氮素

供应可以促进植物营养器官的生长发育, 增加植株绿色面积, 加强光合作用和营养物质的积累^[4], 对于提高作物产量和品质有重要的影响, 但氮素供应不足或过量会起到抑制作用, 不利于植物的生长。目前对巨菌草的研究主要有: 栽培食用菌、开发菌物饲料、饲养家畜、燃烧发电、提取酒精、生产沼气、生态修复、抗逆性(抗盐、抗碱、抗旱、耐低温)等^[1-2, 5-8], 但是关于巨菌草对氮素适应机理的研究鲜见报道。因此, 该研究采用水培的方法来探究苗期巨菌草对氮素的适应特性, 以期探明氮和植株生长及光合生理特性的关系, 为巨菌草的应用和推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试巨菌草(*Pennisetum* sp.)由福建农林大学菌草研究所提供。

1.2 试验方法

巨菌草种茎经10% H₂O₂表面消毒20 min, 蒸馏水冲洗并浸泡24 h后扦插在干净的石英砂中, 每天用一定量的蒸馏水浇灌。2叶1心期, 选取长势一致的幼苗, 去掉种茎后移入容量为5 L的塑料桶中培养, 用打孔的硬质泡沫板和脱脂棉固定幼苗, 每桶8株, 塑料桶外部用黑纸包裹遮光。用1/2 Hoagland营养液培养3 d后移

第一作者简介:刘宏伟(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为菌草生态治理。E-mail: liuhongwei11433@163.com

责任作者:林占熿(1943-), 男, 研究员, 博士生导师, 现主要从事菌草生态治理等研究工作。

基金项目:浑善达克沙地疏林型植被建设技术研究资助项目(201504412); 荒漠化地区菌草治理技术的研究及应用资助项目(JA13096); 福建省菌草生态产业协同创新中心资助项目(K80ND8002); 福建省自然科学基金资助项目(2015J05047)。

收稿日期:2015-12-23

入完全营养液中,每 3 d 更换 1 次,定时定量通气,并更换桶的位置。氮源为 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和 KNO_3 ,设置 6 个供氮水平 (mmol/L): 0.00 (N1)、0.05 (N2)、0.50 (N3)、5.00 (N4) (CK, 作为正常供氮水平)、10.00 (N5)、15.00 (N6),用 CaCl_2 和 KCl 补足 Ca^{2+} 和 K^+ 。营养液 pH 6.0 ± 0.1 ,铁盐溶液用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 配制,并添加 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 以保持营养液中 SiO_2 的浓度为 0.1 mmol/L。每个处理重复 3 次,随机排列,培养 18 d 后测定各项指标。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标 株高:用钢卷尺测量茎基部到顶端;叶面积:采用长宽法(叶面积=长×宽×0.75)测定第 1 片完全展开叶;叶片数:植株叶片的总数;茎粗:用游标卡尺测定茎基部;利用根系扫描仪 WinRHIZO 分别对根总长、根表面积、根体积、根直径、分根数、根尖数进行扫描分析。

1.3.2 光合参数 在晴天 09:00—11:00,用 CIRAS-3 型光合仪测定第 1 片完全展开叶净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO_2 浓度(Ci)、气孔导度(Gs),每个处理测定 6 株苗。

1.3.3 生理指标 在 08:30—10:00,取顶端 5 片完全展开叶,剪碎混匀后测定。光合色素含量采用乙醇提取法测定^[9];硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)含量采用水杨酸-浓硫酸法测定^[10];可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定^[10];可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[11];游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮比色法测定^[11];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[11];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[10];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定^[10];过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定^[10]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平对巨菌草苗期地上部生长特性的影响

由表 1 可知,随着氮素浓度的增加,株高呈先升后

表 2

不同氮素水平下巨菌草苗期地下部生长特性

Table 2 The growth characteristics of under-ground of *Pennisetum* sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen

处理 Treatment	根总长 Total root length /(cm·株 ⁻¹)	根表面积 Root surface area /(cm ² ·株 ⁻¹)	根体积 Root volume /(cm ³ ·株 ⁻¹)	根直径 Root diameter /(mm·株 ⁻¹)	分根数 Number of root forks /(条·株 ⁻¹)	根尖数 Number of root tips /(个·株 ⁻¹)
N1	1 711.47±83.25b	125.14±5.43b	0.73±0.04b	0.23±0.01b	15 096.40±533.84b	5 687.27±195.79bc
N2	2 047.95±136.30a	168.81±19.26a	1.14±0.08a	0.26±0.02a	19 584.50±2 041.76a	6 837.42±680.35a
N3	1 300.59±135.71c	108.65±12.35bc	0.73±0.09b	0.26±0.01a	12 943.73±2 011.30b	5 195.87±455.99c
N4(CK)	1 288.72±146.17c	95.03±16.01c	0.56±0.12b	0.23±0.01b	11 970.67±2 149.59b	5 730.53±393.89bc
N5	1 320.66±46.95c	98.21±11.45c	0.59±0.12b	0.24±0.02ab	12 068.11±1 733.68b	6 236.44±69.05ab
N6	1 331.10±63.35c	101.39±8.08bc	0.62±0.07b	0.24±0.01ab	12 820.53±820.95b	6 141.13±456.79ab

降的趋势,与 CK 相比,N1 和 N2 处理株高显著降低 28.23%、27.49%,N3~N6 处理间无显著差异。氮素浓度对叶片数有显著的影响,与 CK 相比,N1~N3 处理的叶片数分别显著降低 23.85%、20.16%、9.63%,N5 和 N6 处理无显著差异。叶面积和茎粗随着氮素浓度的升高而增大,与 CK 相比,N1~N3 处理叶面积分别显著减小 55.96%、49.33%、22.48%,N5 和 N6 处理叶面积增幅较小,差异不显著;N1 和 N2 处理的茎粗分别显著减少 27.52%、17.82%,N5 和 N6 处理的茎粗分别显著增加 8.24%、9.45%。表明在一定范围内增加氮素浓度可以显著促进植株地上部的生长。

表 1 不同氮素水平下巨菌草苗期地上部生长特性

Table 1 The growth characteristics of above-ground of *Pennisetum* sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	叶片数 Leaf number /(片·株 ⁻¹)	叶面积 Leaf area /(cm ² ·片 ⁻¹)	茎粗 Stem diameter /(mm·株 ⁻¹)
N1	45.09±3.40b	6.80±0.40c	24.65±2.49c	5.98±0.35d
N2	45.56±6.35b	7.13±0.50c	28.36±4.53c	6.78±0.44cd
N3	54.19±6.95a	8.07±0.31b	43.39±3.98b	7.56±0.12bc
N4(CK)	62.83±4.14a	8.93±0.42a	55.97±2.88a	8.25±0.17ab
N5	62.89±3.89a	8.83±0.35a	57.22±5.16a	8.93±0.69a
N6	62.01±1.66a	8.93±0.31a	61.92±2.94a	9.03±0.72a

注:表中数据为平均值±标准差。同列数值后不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。下同。

Note: Data are mean value±SD. Values by different letters in the same column show different significance at 0.05 level. The same below.

2.2 不同氮素水平对巨菌草苗期根系生长特性的影响

由表 2 可知,氮素浓度对根总长、根表面积、根体积、分根数、根尖数的变化有显著影响。随着氮素浓度的增加,各指标均呈先升后降,再小幅上升的趋势。N1、N2 处理的根系总长和根表面积分别比 CK 显著增加 32.80%、58.91%和 31.68%、77.64%;N3~N6 处理间无显著差异。N2 处理根体积最大、分根数及根尖数最多,分别比 CK 显著增加 101.87%、63.60%、19.32%,其它处理间差异不显著。氮素浓度对根系直径的变化影响不显著。结果表明,低浓度(N1 和 N2)的氮素供应,可以显著促进巨菌草幼苗根系的生长,氮素浓度进一步增大对根系形态的影响较小。

2.3 不同氮素水平对巨菌草苗期光合作用的影响

由表 3 可知,氮素浓度对 Pn、Tr、Gs、Ci 的变化均有显著影响。随着氮素浓度的增加,Pn、Tr、Gs 呈先升后降的趋势,Ci 呈下降趋势。N5 处理 Pn 最大,N1 和 N2 处理比 CK 显著降低 21.76%、20.79%;N1 处理 Tr 最小,比 CK 显著降低 14.93%,N2~N6 处理间差异不显著;N1 处理 Gs 比 CK 显著降低 17.5%,其它处理与 CK 相比差异不显著。N1 和 N2 处理 Ci 比 CK 显著增加 37.66%、16.90%,N3~N6 处理间差异不显著。可见,在一定范围内增加氮素浓度可以有效提高叶片的 Pn、Gs,降低 Ci,最终增强植株的光合能力。

表 3 不同氮素水平下巨菌草苗期光合参数

Table 3 The photosynthesis parameters of <i>Pennisetum</i> sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen				
处理 Treatment	净光合速率 Pn /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Tr /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Gs /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 Ci /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)
N1	21.83±3.09b	5.47±0.45b	185.00±12.12c	191.00±11.53a
N2	22.10±2.02b	6.40±0.17a	193.67±17.04bc	162.20±2.68b
N3	25.98±2.44ab	6.41±0.70a	203.00±30.43abc	140.33±10.66c
N4(CK)	27.90±2.27a	6.43±0.42a	224.25±23.74ab	138.75±4.86c
N5	29.02±1.31a	6.52±0.33a	237.60±22.07a	137.00±13.91c
N6	28.12±3.42a	6.33±0.61a	223.75±24.85a	137.40±6.73c

表 4 不同氮素水平下巨菌草苗期光合色素的含量

Table 4 The content of photosynthetic pigment of <i>Pennisetum</i> sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen					
处理 Treatment	光合色素 Photosynthetic pigment				
	叶绿素 a Chl a/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 b Chl b/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素(a+b) Chl (a+b)/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/叶绿素 b Chl a/b	类胡萝卜素 Carotenoid/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
N1	0.832±0.021d	0.192±0.013c	1.024±0.027d	4.338±0.301a	0.182±0.006c
N2	0.923±0.001c	0.258±0.013b	1.182±0.012c	3.582±0.189b	0.220±0.003b
N3	0.990±0.005bc	0.262±0.009b	1.252±0.013bc	3.783±0.127b	0.231±0.006ab
N4(CK)	1.034±0.024b	0.278±0.021b	1.311±0.044b	3.729±0.203b	0.236±0.012ab
N5	1.112±0.051a	0.312±0.030a	1.424±0.080a	3.580±0.213b	0.248±0.015a
N6	0.995±0.075bc	0.269±0.007b	1.264±0.077bc	3.702±0.270b	0.220±0.010b

2.5 不同氮素水平对巨菌草苗期硝态氮和渗透调节物质含量的影响

NO₃⁻-N 是植物根系吸收氮素的主要氮源之一,植物体内 NO₃⁻-N 的含量在一定程度上可以反映介质中氮素的供应情况。可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸是重要的有机渗透调节物质,对于植物适应逆境胁迫有重要的作用。由表 5 可知,NO₃⁻-N 含量随着氮素浓度的增加呈上升趋势,N4~N6 处理间 NO₃⁻-N 的含量差异不显著,与 CK 相比,N1~N3 处理 NO₃⁻-N 的含量分别显著减少

2.4 不同氮素水平对巨菌草苗期光合色素含量的影响

由表 4 可知,随着氮素浓度的增加,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素的含量均呈先增加后减少的趋势。其中,与 CK 相比,N1 和 N2 处理叶绿素 a 含量分别显著减少 19.54%、10.74%,而 N5 处理显著增加 7.54%;N1 处理叶绿素 b 含量显著减少 30.94%,N5 处理显著增加 12.23%;N1 和 N2 处理叶绿素总量分别显著减少 21.89%、9.84%,N5 处理显著增加 8.62%;N1 处理类胡萝卜素含量显著减少 22.88%。这表明,适量的氮素供应有利于光合色素的合成,氮素不足会限制其生成,过高则会产生一定的抑制作用。

82.93%、81.84%、69.38%。可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量均随着氮素浓度的增加呈先升后降的趋势。与 CK 相比,N5 处理可溶性蛋白质含量最高,N1~N3 处理可溶性蛋白质含量分别显著降低 67.09%、56.96%、37.97%;N4 处理的可溶性糖、脯氨酸含量最高,与其它处理间均存在显著差异,N1 处理最低。结果表明,增大氮素浓度可以提高叶片中 NO₃⁻-N 的含量,促进渗透调节物质的积累,提高巨菌草幼苗的抗逆性,过量的氮素供应则会导致渗透调节物质含量的减少,降低其抗逆性。

表 5 不同氮素水平下巨菌草苗期硝态氮和渗透调节物质的含量

Table 5 The content of NO ₃ ⁻ -N and osmotic substances of <i>Pennisetum</i> sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen				
处理 Treatment	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质 Soluble protein/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性糖 Soluble sugar/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	脯氨酸 Proline/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
N1	288.46±54.95b	0.78±0.08d	6.74±0.46b	5.48±0.74c
N2	306.78±41.96b	1.02±0.15d	7.80±0.60b	5.52±0.57c
N3	517.40±104.01b	1.47±0.12c	8.26±0.36b	6.62±0.43b
N4(CK)	1 689.56±143.13a	2.37±0.23b	10.14±0.49a	8.92±0.44a
N5	1 799.45±151.79a	2.96±0.16a	8.01±0.42b	7.41±0.82b
N6	1 854.40±99.05a	2.65±0.11ab	7.28±0.57b	7.50±0.43b

2.6 不同氮素水平对巨菌草苗期丙二醛(MDA)含量和保护酶活性的影响

MDA 是细胞膜脂过氧化的产物,其含量的变化可以反映出膜脂的受损程度。POD、SOD、CAT 是植物的抗氧化保护酶,可以有效清除植物组织中的活性氧,减轻其对植物造成的伤害。由表 6 可知,随着氮素浓度的增加,MDA 含量总体呈下降趋势,POD、SOD 活性先增大后减小,CAT 活性持续增大。N1 处理 MDA 含量最

表 6 不同氮素水平下巨菌草苗期 MDA 含量和保护酶活性

Table 6 The content of MDA and the activities of protective enzymes of *Pennisetum* sp. at seedlings stage under different levels of nitrogen

处理 Treatment	丙二醛 MDA /(mmol · g ⁻¹)	过氧化物酶 POD /(μg · g ⁻¹ · min ⁻¹)	超氧化物酶 SOD /(U · g ⁻¹ · h ⁻¹)	过氧化氢酶 CAT /(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)
N1	2.73±0.11a	70.54±5.75c	269.43±14.73ab	10.89±0.33c
N2	2.57±0.14ab	94.03±3.15ab	298.79±17.59a	12.07±1.07bc
N3	2.41±0.02b	107.58±3.89a	234.06±8.20bc	12.49±1.39bc
N4(CK)	2.15±0.05c	93.05±3.07ab	238.78±20.84bc	13.85±0.53b
N5	2.18±0.05c	88.61±6.45b	240.72±19.47bc	14.55±1.48b
N6	1.92±0.13d	85.20±4.42bc	211.89±9.65c	17.19±1.12a

3 讨论

3.1 不同氮素水平对巨菌草苗期生长特性的影响

适量的氮素供应可以促进分生组织细胞分裂、新器官中细胞膨大、新器官的发生^[12],保证植物整个生长发育过程的顺利进行。该研究表明,在一定的范围内,提高氮素水平可以显著增加株高、叶片数、叶面积、茎粗,氮素供应量的进一步增加对植株地上部生长的促进作用逐渐变小。根是植物适应环境的重要器官之一,大多数生活在土里,构成植物的地下部分,其主要功能是吸收、输导、合成、贮藏和支持^[13]。LADHA 等^[14]研究认为,氮素高效吸收型水稻通过发育较好的根系形态来提高其对氮素的吸收和利用能力。该研究中,随着氮素浓度的增加,各处理的根总长、根表面积、根体积、分根数、根尖数总体呈先升后降的趋势,表明低浓度的氮素供应可以促进根系的生长,进而增强根系对养分的吸收和利用能力,氮素浓度继续升高对根系形态的影响较小,这与姜琳琳等^[15]对玉米的研究结果一致。

3.2 不同氮素水平对巨菌草苗期光合作用的影响

光合作用是绿色植物最重要的生理活动,充足的氮素营养可保证植物有较大的叶面积进行光合作用,从而提高光合速率^[16]。郭盛磊等^[17]研究表明,提高氮素供应可显著增强落叶松幼苗的光合能力,增加光系统Ⅱ天线色素捕获的光能。该研究中 Pn、Tr、Gs 呈先增加后减小,Ci 则不断减小,表明适宜的氮素浓度可以增大 Gs,促进植株对 CO₂ 高效利用,提高 Pn,进而增强植株的光合作用,氮素浓度过低或过高均不利于光合作用的进行,这与张定一等^[18]对冬小麦、魏猛等^[19]对叶菜型甘薯的研究结果相似。

3.3 不同氮素水平对巨菌草苗期生理特性的影响

光合色素具有吸收并传递光能给中心色素的作用,

高,为 2.73 mmol/g,比 CK 显著增加 26.98%。N1 处理 POD 活性比 CK 显著降低 24.19%,其它处理与 CK 相比差异不显著;N2 处理 SOD 活性最高,比 CK 显著增加 25.13%,N3~N6 处理间差异不显著;和 CK 相比,N1 处理 CAT 活性显著降低 21.37%,而 N6 处理则显著增加 24.12%。结果表明,一定量的氮素供应可以有效减少 MDA 含量,提高抗氧化酶系活性,增强巨菌草幼苗抵抗膜脂过氧化的能力。

少数叶绿素 a 可以捕获光能直接进行能量的转化^[13]。郭盛磊等^[17]研究认为,随着氮素浓度的增大,落叶松幼苗的叶绿素、类胡萝卜素含量均显著增加。该研究中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量均先增加后减少,表明适量的氮素供应可以显著提高光合色素的含量,不足或过量均不利于光合色素的合成,这与刘小飞等^[20]对“桂牧一号”杂交象草、徐爱东等^[21]对玉米的研究结果一致。

植物吸收和积累硝态氮是其生长发育过程中的自然现象,并受遗传、矿质营养及诸多环境因子的影响。门中华等^[22]研究表明,NO₃⁻-N 供应过量会抑制其在水体内的同化,过低则不利于小麦幼苗氮素营养。该研究表明,叶片中 NO₃⁻-N 的含量随着氮素浓度的升高而增加,增幅逐渐变小。在逆境胁迫下,植物会通过一系列生理生化反应进行调节和适应,以保持正常的生理活动。尹丽等^[23]研究认为,在正常供水和轻度干旱条件下,增施氮肥可以显著促进麻疯树幼苗渗透调节物质的积累。该研究中可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸含量随着氮素浓度的升高而增加,氮素浓度继续增大,三者含量有所下降,表明适宜的氮素供应有助于叶片中可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸的合成,这与王贺正等^[4]对小麦的研究结果相似。叶片中可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸等渗透调节物质含量的增加,不仅可以维持细胞渗透平衡,延缓叶片衰老,延长叶片光合功能期,为有机物的合成提供碳源和氮源,而且也有助于清除植株体内过量的自由基、稳定生物大分子的结构和功能^[4,24]。

植物必须依赖氧才能获得能量、维持生存,然而氧又可能会对植物产生一定的毒害作用。正常情况下,细胞内活性氧的产生和清除处于动态平衡,但当植物遭受逆境胁迫时,活性氧的产生量增加,此时,植物会启动相应的抗氧化系统防止细胞膜脂过氧化,降低细胞膜受损

程度^[25-26]。张立新等^[27]研究表明,施用氮肥增强了水分胁迫条件下夏玉米叶片中 POD、SOD、CAT 活性,降低了 MDA 含量,氮肥用量的影响有显著差异。张瑞朋等^[28]研究表明,生产中采用 100 kg/hm² 尿素追肥处理,可以提高大豆叶片保护酶(POD、SOD、CAT)活性,进而增强大豆的抗逆能力。该研究中随着氮素浓度的增加,MDA 含量呈下降趋势,POD、SOD 活性总体呈先升后降的趋势,CAT 活性呈上升趋势。这表明,一定量的氮素供应可以降低 MDA 含量,并不同程度的增强保护酶活性,进而提高保护酶清除活性氧的能力,降低膜脂过氧化损伤程度,维持细胞的正常生理活动,增强植株的抗逆性。POD、SOD、CAT 活性变化趋势不一致,表明三者对氮胁迫的响应可能存在一定的差异,表现为相互协调的作用。

4 结论

氮素浓度和植株的生长及光合生理特性密切相关,适量的氮素供应(5.00~10.00 mmol/L)可以促进巨菌草生长,提高光合能力,增加渗透调节物质含量、减少 MDA 含量及提高保护酶活性,有利于植株生长并增强了其抗逆性,氮素供应不足(0.00~0.50 mmol/L)或过量(15.00 mmol/L)均不同程度的限制植株的正常生长及生理代谢活动。该研究揭示了苗期巨菌草对氮素的适应特性,而氮素对不同生育期的巨菌草生长、光合生理特性的影响机理仍需进一步的研究。

(该文作者还有叶文雨,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 林占熿. 菌草学[M]. 3 版. 北京: 国家行政学院出版社, 2013.
- [2] 林兴生, 林占熿, 林冬梅, 等. 不同种植年限的巨菌草对植物和昆虫多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2849-2854.
- [3] DIAZ C. Leaf yellowing and anthocyanin accumulation are two genetically independent strategies in response to nitrogen limitation in *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant and Cell Physiology, 2005, 47(1): 74-83.
- [4] 王贺正, 张均, 吴金芝, 等. 不同氮素水平对小麦旗叶生理特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2013(4): 69-75.
- [5] 林兴生, 林占熿, 林冬梅, 等. 5 种菌草苗期抗盐性的评价[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2013(2): 195-201.
- [6] 林兴生, 林占熿, 林冬梅, 等. 低温胁迫 5 种菌草的抗寒性评价[J]. 草业学报, 2013(2): 227-234.
- [7] 谢长海, 王培丹, 刘艳玲, 等. 巨菌草对干旱胁迫的生理响应及相关性分析[J]. 北方园艺, 2015(2): 129-133.
- [8] 黄国勇. 应用菌草技术治理宁夏荒漠化土地的研究与展望[J]. 防护林科技, 2011(2): 46-48.
- [9] 薛香, 吴玉娥. 小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J]. 湖北农业科学, 2010(11): 2701-2702.
- [10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 李春俭. 高级植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 176.
- [13] 周云龙. 植物生物学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 84, 164.
- [14] LADHA J K, KIRK G J D, BENNETT J, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved lowland rice germplasm[J]. Field Crops Research, 1998, 56(2): 41-71.
- [15] 姜琳琳, 韩立思, 韩晓日, 等. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011(1): 247-253.
- [16] 胡露堂. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 35.
- [17] 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 等. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005(6): 1291-1298.
- [18] 张定一, 张永清, 杨武德, 等. 不同基因型小麦对低氮胁迫的生物学响应[J]. 作物学报, 2006, 32(9): 1349-1354.
- [19] 魏猛, 唐忠厚, 陈晓光, 等. 不同氮素水平对叶菜型甘薯光合作用及生长特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2014(1): 87-91.
- [20] 刘小飞, 孟可爱, 李科云. 氮肥对桂牧一号杂交象草叶绿素、含氮物含量和转氨酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013(12): 43-48.
- [21] 徐爱东, 邱念伟, 姜苑颖. 判断玉米幼苗缺氮程度的叶绿素荧光动力学指标[J]. 植物营养与肥料学, 2010, 16(2): 498-503.
- [22] 门中华, 李生秀. 水培硝态氮浓度对冬小麦幼苗氮代谢的影响[J]. 广西植物, 2010(4): 544-550.
- [23] 尹丽, 刘永安, 谢财永, 等. 干旱胁迫与施氮对麻疯树幼苗渗透调节物质积累的影响[J]. 应用生态学报, 2012(3): 632-638.
- [24] 李强, 罗延宏, 龙文靖, 等. 低氮胁迫对不同耐低氮性玉米品种苗期生长和生理特性的影响[J]. 草业学报, 2014(4): 204-212.
- [25] 匡艺, 李廷轩, 余海英. 氮素对不同氮效率小黑麦基因型叶片保护酶活性和膜脂过氧化的影响[J]. 草业学报, 2011(6): 93-100.
- [26] SMIRNOFF N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation[J]. New Phytologist, 1993, 125(1): 27-58.
- [27] 张立新, 李生秀. 氮、钾、甜菜碱对水分胁迫下夏玉米叶片膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J]. 作物学报, 2007(3): 482-490.
- [28] 张瑞朋, 佟斌, 傅连舜, 等. 氮素对不同来源大豆品种叶片保护酶的影响[J]. 大豆科学, 2009(5): 833-836.

Effect of Nitrogen on *Pennisetum* sp. Seeding Stage Growth and Photosynthetic Physiological Characteristics

LIU Hongwei^{1,2}, ZHANG Rongrong¹, LIU Yanling^{1,2}, XIE Changhai^{1,2}, LIN Hui^{1,2}, LIN Zhanxi^{1,2}, YE Wenyu^{1,2}

(1. School of Life Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. China National Engineering Research Center of Juncao Technology, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract: Taking *Pennisetum* sp. as test material, hydroponic experiment was carried out to study the response of different concentration of nitrogen (N) on seeding stage growth and photosynthetic physiological characteristics of *Pennisetum* sp..

DOI:10.11937/bfyy.201608038

响应面法优化蛹虫草菌液体发酵条件

秦 鹏, 王 龙, 路 等 学, 韩 融 冰, 赵 玉 卉

(甘肃省科学院 生物研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:以蛹虫草菌(*Cordyceps militaris*)为试材,用单因素试验筛选适宜温度后,利用响应面法优化培养基,最后用优化的条件和培养基进行摇床6 d和摇床6 d+静置培养10 d的液体发酵试验,研究不同培养条件下蛹虫草菌液体发酵后菌丝体产率以及静置培养对虫草素积累量的影响。结果表明:蛹虫草菌适宜温度为25℃,优化培养基为蔗糖4.34%、酵母粉3.06%、硫酸亚铁0.027%、磷酸二氢钾0.2%、硫酸铵0.04%、硫酸镁0.13%、维生素B₁0.08%、硫酸锌0.06%;摇床6 d和摇床6 d+静置10 d后,发酵液中的菌丝体产率分别为2.568 g/100mL和3.389 g/100mL,后者菌丝体产率比初始培养基增加了1.73倍,而虫草素积累量分别达到568.329 μg/mL和862.893 μg/mL,后者比初始培养基中增加了1.56倍。

关键词:蛹虫草;菌丝体;响应面;虫草素

中图分类号:S 646.1⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)08-0138-04

蛹虫草(*Cordyceps militaris*)属虫草科虫草属,含有虫草素、虫草酸、虫草多糖、麦角甾醇等多种药用活性成分,有抗癌、抗病毒、清除自由基、提高免疫力等功能^[1-3],研究证实蛹虫草菌丝体主要的活性成分含量与野生虫草菌大致相同,某些成分高于野生虫草菌^[4],虫草素是蛹虫草标志性的活性成分之一^[5]。目前,液体发酵技术是开发和利用多种活性成分的重要且高效的途径,但国

内外尚缺乏有效的针对蛹虫草菌液体发酵的多种活性产物的评价体系。而菌丝体产率和多种活性成分在一定的发酵周期内呈正相关关系^[6-7]。因此,以蛹虫草液体发酵后菌丝体产率为指标,首先筛选菌株适宜温度,再利用响应面法优化培养基,最后,利用优化条件和培养基进行发酵试验,测定发酵液虫草素含量,再以摇床培养6 d+静置培养10 d的培养方式进一步提高虫草素含量,以期蛹虫草菌丝体液体发酵产虫草素的工业化生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株为蛹虫草菌,购自中科院微生物研究所。斜面和平皿培养基均为营养琼脂。初始培养基:酵母粉

第一作者简介:秦鹏(1984-),男,硕士,助理研究员,研究方向为食(药)用菌菌学。E-mail:kingkerberos@163.com.

责任作者:赵玉卉(1983-),女,本科,助理研究员,研究方向为食用菌学。E-mail:yuhuizhao51@163.com.

基金项目:甘肃省科学院青年科技创新基金资助项目(2014QN-07);甘肃省科学院青年科技创新基金资助项目(2015QN-02)。

收稿日期:2015-12-18

The results showed that with the improvement of N concentration, plant height, total root length, root surface area, root volume, number of root forks, number of root tips all increased first and then decreased, leaf number, leaf area and stem diameter decreased; Pn, Tr and Gs rose and then dropped, Ci continuously dropped; the contents of photosynthetic pigment, soluble protein, soluble sugar, proline, and the activities of POD and SOD all showed a trend of first increasing and then decreasing, the content of NO₃⁻-N and the activity of CAT increased, while the content of MDA decreased. The study indicated that optimal N supply (5.00—10.00 mmol/L) could promote plant shoot and root growth, enhance photosynthesis, raise the contents of osmotic adjustable substances, reduce the content of MDA, and promote the activities of antioxidant enzymes, which was in favor of the growth of plant and strengthened their adaptability to the adverse environments. The growth and physiological metabolism activity was limited in different extent when the N supply was in short (0.00—0.50 mmol/L) or excessive (15.00 mmol/L) conditions.

Keywords: *Pennisetum* sp.; nitrogen levels; growth characteristics; photosynthesis; osmotic adjustment; membrane lipid peroxidation