

林 琪,张亚菲,王 丽,等. 干旱胁迫下施肥对新疆圆柏幼苗形态及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):127-130.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.028

# 干旱胁迫下施肥对新疆圆柏幼苗形态及生理特性的影响

林 琪<sup>1</sup>, 张亚菲<sup>2</sup>, 王 丽<sup>1</sup>, 冯立涛<sup>3</sup>, 黄俊华<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院,新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学科学技术学院,新疆乌鲁木齐 830091;

3. 乌鲁木齐市草原监理站,新疆乌鲁木齐 830062)

**摘要:**采用“3414”不完全正交设计进行苗期盆栽试验,研究干旱胁迫条件下不同施肥配比对新疆圆柏幼苗生长和生理特性的影响。结果表明,在亏缺灌溉条件下施用氮(尿素)0.21 g/盆、磷(过磷酸钙)0.65 g/盆、钾(硫酸钾)0.19 g/盆,新疆圆柏幼苗的生长形态和生理特性表现良好,合理的配比施肥增加了幼苗的抗逆性,有效缓解了干旱胁迫,促进新疆圆柏幼苗的生长发育。但钾肥用量过高,会造成生理干旱,增加了对植物的胁迫,从而抑制幼苗生长。

**关键词:**新疆圆柏;幼苗;干旱胁迫;配比施肥;生长形态;生理指标

**中图分类号:** S718.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0127-04

新疆地处于大陆腹地,远离海洋,水资源缺乏是限制其城市园林绿化发展的主要因素<sup>[1]</sup>。研究表明,适量施肥可以提高植物对水分的利用率<sup>[2]</sup>。长期以来人们都非常重视大田作物<sup>[3]</sup>、蔬菜<sup>[4]</sup>和果树<sup>[5]</sup>的施肥,而忽略了园林植物的施肥,但园林植物的施肥与农作物和林木同等重要。园林植物作为城市环境的主要生物资源,不仅有美化环境的功能,在保持水土、调整气候、净化空气、滞尘减噪等方面也起着很大的作用。合理施肥还可以促进植物枝叶茂盛,也是加速植物生长和延长生命周期有效行为,随着绿化水平的提高,多层次的植物配置增加了植物之间养分的消耗,适量补充植物的营养元素对植物生长起到很大的促进作用。城市园林绿化耗水量大,在水资源紧缺的地区更应该大量节约城市绿化用水,在水资源有限的条件下补充土壤养分对增强园林植物的抗旱性和维持园林植物形态是很重要的措施。

新疆圆柏(*Sabina vulgaris*)为柏科圆柏属植物,别称天山圆柏、臭柏、叉子圆柏、沙地柏、爬地柏等,为多年生常绿匍匐灌木,多生长于海拔1 000~3 000 m以上的沙地、干旱荒山,广泛分布于阿尔泰山、天山以及准噶尔西部等地<sup>[6]</sup>。新疆圆柏根系发达,细根极多,具有耐阴、耐低温和抗旱等抗逆性特点,是干旱、半干旱地区水土保持和防风固沙的优良树种<sup>[7]</sup>,在园林绿化中可用作地被、绿篱,是新疆冬季绿化的重要观赏植物。

目前,对于新疆圆柏的研究多集中于扦插育苗和引种栽培方面<sup>[8-10]</sup>,而关于新疆圆柏在苗期通过土壤养分的调控来应对干旱胁迫的适应性研究却未见报道。因此,本研究拟分

析干旱胁迫条件下不同施肥配比方式对新疆圆柏幼苗生长和生理特性的影响,筛选出有利于促进其生长发育的最佳施肥配比,为园林绿化栽培与养护提供技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试材料为新疆圆柏扦插苗,选择高度和长势一致且健壮无病虫害的幼苗,种植于底部直径为12 cm、上部直径为17 cm、高为14 cm的聚乙烯塑料盆中,每盆装风干土2 kg。所用土壤最大持水量为25.5%,有机质含量为3.41 g/kg,pH值为7.02,全氮(N)含量为17.5 mg/kg,全磷(P)含量为15.5 mg/kg,全钾(K)含量为1.56 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验在新疆乌鲁木齐南草滩农业展示中心试验基地进行,于2017年4月12日开始试验,之后每个月定期测量和记录幼苗的生长指标,直到2017年10月12日结束,采集整株幼苗在新疆农业大学实验室内进行生理试验。

采用“3414”不完全正交回归设计方案。设置氮、磷、钾3个养分因素,各因素设3个用量水平,共12个处理(表1),每种处理10株,3次重复。试验所用肥料为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15%)、硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 52%)。所有的肥料分2次施用,2017年4月12用全部肥料的2/3作基肥,溶于水浇施,并在每盆土中拌入100 g经发酵处理过的马粪,2017年7月12日进行第2次追肥,所用肥料为总量的1/3。灌水量为100 mL/盆,5 d灌水1次(在试验后5 d枝条顶端开始出现萎蔫状态,判断幼苗已受到胁迫)。

### 1.3 指标测定与方法

幼苗株高、冠幅和地径采用直接测量法测定,叶绿素和类胡萝卜素采用分光光度计法<sup>[11]</sup>测定,相对膜透性采用电导法<sup>[11]</sup>测定,根系活跃吸收面积采用甲烯蓝吸附法<sup>[11]</sup>测定,叶片全氮测定采用靛酚蓝比色法<sup>[12]</sup>测定,叶片全磷含量的测定采用钒钼抗比色法<sup>[12]</sup>测定,叶片全钾含量采用火焰光度

收稿日期:2017-12-28

基金项目:新疆乌鲁木齐市科技计划(编号:Y151210013);新疆维吾尔自治区森林培育重点学科资助项目。

作者简介:林 琪(1992—),女,四川南充人,硕士,主要从事风景园林植物资源应用研究。E-mail:522716534@qq.com。

通信作者:黄俊华,博士,教授,硕士生导师,主要从事野生观赏植物资源利用研究。E-mail:huangjunhua-7311@163.com。

法<sup>[12]</sup>测定,脯氨酸采用磺基水杨酸法<sup>[13]</sup>测定,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法<sup>[13]</sup>测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法<sup>[13]</sup>测定,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法<sup>[13]</sup>测定,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法<sup>[13]</sup>测定。

表 1 “3414”肥料试验实施方案

试验编号	处理	N 用量 (g/盆)	P 用量 (g/盆)	K 用量 (g/盆)
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0	0	0
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	0.43	0.19
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.11	0.43	0.19
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	0.21	0	0.19
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	0.21	0.22	0.19
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	0.21	0.43	0.29
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	0.21	0.65	0.19
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	0.21	0.43	0
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.21	0.43	0.19
10	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.32	0.43	0.19
11	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	0.21	0.43	0.10

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,用 SPSS 19.0 软件对试验结果进行方差分析和 Duncan’s 多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾配比施肥对新疆圆柏幼苗生长的影响

由表 2 可知,在相同 P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 N 肥施入量的增加,株高、冠幅和地径增长量显著增加。株高增长量的变化趋势为 N<sub>3</sub> > N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> > N<sub>0</sub>,冠幅增长量为 N<sub>3</sub> > N<sub>2</sub> > N<sub>1</sub>、N<sub>0</sub>,地径增长量为 N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub> > N<sub>1</sub> > N<sub>0</sub>,多数处理间差异显著。在相同 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 P 肥施入的增加,株高、冠幅和地径增长量显著增加。株高和地径增长量的变化趋势为 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>0</sub>,冠幅增长量为 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub>、P<sub>0</sub>,处理间存在显著差异。在相同 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 水平下,随施 K 肥用量的增加,株高、冠幅和地径增长量在一定范围内显著降低。株高的变化趋势为 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> > K<sub>0</sub> > K<sub>3</sub>,冠幅为 K<sub>1</sub> > K<sub>0</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>,地径为 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> > K<sub>0</sub> > K<sub>3</sub>,差异显著。N、P、K 存在交互作用,株高在 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理下最高,冠幅在 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 处理下相对较高,地径在 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理下最高。

2.2 氮磷钾施肥对新疆圆柏幼苗渗透调节物质及膜透性的影响

由表 3 可知,在相同的 P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 N 肥的施入量增加,脯氨酸含量较 N<sub>0</sub> 显著增加,细胞膜透性和 MDA 含量显著降低。细胞膜透性大小依次为 N<sub>3</sub>、N<sub>2</sub> < N<sub>1</sub> < N<sub>0</sub>,MDA 含量为 N<sub>3</sub> < N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> < N<sub>0</sub>。在相同 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 P 肥的施入,脯氨酸含量先降低后显著增加,细胞膜透性和 MDA 显著降低。脯氨酸含量的变化趋势为 P<sub>3</sub> > P<sub>2</sub> > P<sub>1</sub>、P<sub>0</sub>,细胞膜透性和 MDA 含量为 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> < P<sub>0</sub>。在相同的 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 水平下,随 K 肥的施入脯氨酸含量较 K<sub>0</sub> 显著增加,细胞膜透性和 MDA 含量显著降低。脯氨酸含量的变化趋势为 K<sub>1</sub> > K<sub>2</sub> > K<sub>0</sub> > K<sub>3</sub>,细胞膜透性和 MDA 含量为 K<sub>1</sub> < K<sub>2</sub> < K<sub>0</sub> < K<sub>3</sub>。在 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理下脯氨酸含量最高,N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 处理下细胞膜透性最小,MDA 含量最低。

表 2 氮磷钾施肥对株高、冠幅和地径增长量的影响

处理	株高增长量 (cm)	冠幅增长量 (cm)	地径增长量 (mm)
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.13 ± 0.21Ab	1.40 ± 0.17Ab	0.14 ± 0.02Aab
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.17 ± 0.35Bd	1.50 ± 0.20Ab	0.24 ± 0.02Bc
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.77 ± 0.25Bd	2.60 ± 0.10Bcd	0.45 ± 0.03Ce
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	6.67 ± 0.51Cf	3.17 ± 0.15Ce	0.47 ± 0.02Cef
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2.53 ± 0.06Ab	1.20 ± 0.20Aab	0.12 ± 0.03Aab
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	3.30 ± 0.26Bc	1.37 ± 0.25Ab	0.27 ± 0.05Bc
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.77 ± 0.25Cd	2.60 ± 0.10Bcd	0.45 ± 0.03Ce
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	4.70 ± 0.53Cde	2.80 ± 0.40Bde	0.51 ± 0.05Cf
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	3.50 ± 0.30Bc	2.53 ± 0.12Acd	0.33 ± 0.03Bd
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	5.20 ± 0.31Ce	3.13 ± 0.15Be	0.49 ± 0.02Cef
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.77 ± 0.25Cd	2.60 ± 0.10Acd	0.45 ± 0.03Ce
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	1.27 ± 0.25Aa	2.37 ± 0.19Ac	0.16 ± 0.02Ab
CK(N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	2.27 ± 0.32b	0.83 ± 0.21a	0.09 ± 0.02a

注:表中同列数值后不同大写字母表示为 N、P、K 不同水平间在 0.05 水平上差异显著,不同小写字母表示各施肥处理间在 0.05 水平上差异显著。表 3 至表 6 同。

表 3 氮磷钾施肥对新疆圆柏幼苗脯氨酸含量及膜透性的影响

处理	脯氨酸含量 (mg/100 g)	细胞膜透性 (%)	MDA 浓度 (mmol/g)
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1.44 ± 0.09Aab	61.20 ± 0.61Cd	0.98 ± 0.04Cg
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.18 ± 0.04Bcd	59.25 ± 0.71Bc	0.35 ± 0.03Bc
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.60 ± 0.17Ce	47.87 ± 0.66Ab	0.33 ± 0.03Bc
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	3.35 ± 0.26Df	46.98 ± 0.61Ab	0.24 ± 0.03Ab
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	1.65 ± 0.18Ab	64.45 ± 1.56Be	0.59 ± 0.02Bd
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	1.39 ± 0.14Aab	48.31 ± 1.04Ab	0.35 ± 0.02Ac
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.60 ± 0.17Be	47.87 ± 0.66Ab	0.33 ± 0.03Ac
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	6.47 ± 0.21Ch	47.71 ± 0.35Ab	0.34 ± 0.03Ac
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.05 ± 0.17Bc	57.67 ± 1.06Cc	0.73 ± 0.03Cf
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	5.81 ± 0.21Dg	42.42 ± 1.14Aa	0.19 ± 0.02Aa
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.60 ± 0.17Ce	47.87 ± 0.66Bb	0.33 ± 0.03Bc
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	1.19 ± 0.07Aa	67.23 ± 1.44Df	1.01 ± 0.05Dg
CK(N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	2.44 ± 0.44de	64.83 ± 0.45e	0.67 ± 0.02e

2.3 氮磷钾施肥对新疆圆柏幼苗保护酶活性的影响

由表 4 可知,在相同 P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 N 肥施入量的增加,POD、CAT 和 SOD 活性显著增加,且变化一致,处理间差异显著。在相同 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,POD 和 CAT 的活性随着施 P 量的增加而增加,SOD 活性的变化趋势为 P<sub>2</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>3</sub>、P<sub>0</sub>,差异显著。在相同 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 水平下,随 K 肥施入量的增加,POD、CAT 和 SOD 活性显著增加。POD 活性的变化趋势为 K<sub>2</sub> > K<sub>1</sub> > K<sub>3</sub> > K<sub>0</sub>,SOD 活性为 K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> > K<sub>1</sub> > K<sub>0</sub>,CAT 活性为 K<sub>2</sub> > K<sub>1</sub> > K<sub>3</sub> > K<sub>0</sub>,差异显著。在 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理下 POD 和 SOD 的活性最高,N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理下 CAT 的活性显著高于其他处理。

2.4 氮磷钾施肥对光合作用物质和根系吸收能力的影响

由表 5 可知,在相同 P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 N 肥施入量的增加,总叶绿素、类胡萝卜素含量和根系活跃吸收面积明显增加。总叶绿素含量的变化趋势为 N<sub>3</sub> > N<sub>2</sub> > N<sub>1</sub>、N<sub>0</sub>,类胡萝卜素含量和根系活跃吸收面积大小依次为 N<sub>3</sub> > N<sub>2</sub>、N<sub>1</sub> > N<sub>0</sub>,处理间差异显著。在相同 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 P 肥施入量的增加,总叶绿素、类胡萝卜素含量和根系活跃吸收面积明显增加。总

表 4 氮磷钾配施对新疆圆柏幼苗 POD、SOD 和 CAT 活性的影响

处理	POD 活性 (μg/g)	SOD 活性 (U/g)	CAT 活性 [U/(g·min)]
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	39.04 ± 0.16Ac	63.09 ± 0.67Ab	354.47 ± 0.48Ab
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	50.20 ± 1.71Be	71.55 ± 0.52Bc	450.54 ± 0.65Bf
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	92.79 ± 0.24Ch	90.49 ± 0.38Cg	596.17 ± 0.20Ci
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	96.63 ± 0.18Dj	92.59 ± 0.26Dh	621.13 ± 1.04Dk
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	32.38 ± 0.22Ab	87.04 ± 0.64Ae	420.23 ± 0.81Ad
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	77.80 ± 0.12Bg	89.26 ± 0.23Bf	482.57 ± 0.38Bg
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	92.79 ± 0.24Ch	90.49 ± 0.38Cg	596.17 ± 0.20Ci
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	94.68 ± 0.10Di	86.22 ± 0.83Ade	601.23 ± 0.56Dj
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	43.85 ± 0.28Ad	85.46 ± 0.75Ad	383.23 ± 1.03Ac
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	78.23 ± 0.56Cg	86.58 ± 0.43Be	485.31 ± 0.20Ch
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	92.79 ± 0.24Dh	90.49 ± 0.38Cg	596.17 ± 0.20Di
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	55.87 ± 0.51Bf	89.99 ± 0.31fCg	426.53 ± 0.19Be
CK(N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	29.39 ± 0.45a	33.78 ± 0.48a	251.83 ± 0.43a

表 5 氮磷钾配施对新疆圆柏幼苗叶绿素含量、类胡萝卜素含量和根系活跃吸收面积的影响

处理	总叶绿素含量 (mg/g)	类胡萝卜素 含量(mg/g)	根系活跃吸收 面积(%)
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.52 ± 0.01Abc	0.11 ± 0.01Abc	44.66 ± 0.16Ab
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.57 ± 0.02Abc	0.13 ± 0.03ABcd	47.19 ± 0.07Bde
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.68 ± 0.05Bd	0.13 ± 0.02ABcd	47.29 ± 0.21Bde
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.90 ± 0.06Cf	0.16 ± 0.02Bd	47.96 ± 0.51Ce
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	0.47 ± 0.03Aa	0.07 ± 0.01Aa	44.56 ± 0.43Ab
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	0.61 ± 0.04Bcd	0.09 ± 0.02Aab	46.82 ± 0.57Bcd
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.68 ± 0.05Bd	0.13 ± 0.03Bcd	47.29 ± 0.21BCde
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	0.91 ± 0.06Cf	0.14 ± 0.02Bcd	47.75 ± 0.52Cde
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	0.57 ± 0.02Abc	0.13 ± 0.03Acd	46.41 ± 0.33Ac
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	0.75 ± 0.04Be	0.14 ± 0.02Acd	47.41 ± 0.19Bede
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.68 ± 0.05Bd	0.13 ± 0.02Acd	47.29 ± 0.21Bde
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	0.53 ± 0.05Abc	0.12 ± 0.02Abc	46.29 ± 0.01Ac
CK(N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	0.47 ± 0.06a	0.07 ± 0.02a	43.40 ± 0.22a

叶绿素含量的变化趋势为 P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> > P<sub>0</sub>,类胡萝卜素含量为 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub>、P<sub>0</sub>,根系活跃吸收面积为 P<sub>3</sub> > P<sub>2</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>0</sub>,处理间差异显著。在相同的 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 水平下,随 K 肥的施入,总叶绿素含量和根系活跃吸收面积在 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 处理下显著增加。总叶绿素含量和根系活跃吸收面积的变化趋势为 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> > K<sub>0</sub>、K<sub>3</sub>。类胡萝卜素含量在不同 K 水平间差异不显著。在 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理下总叶绿素含量最高,N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理下类胡萝卜素含量和根系活跃吸收表面积最高。

2.5 氮磷钾配施对叶片养分含量的影响

由表 6 可知,在相同的 P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 N 肥施入量的增加,叶片的 N、P、K 含量明显增加。叶片 N 含量随着施 N 量的增加而增加,叶片 P 含量为 N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub> > N<sub>0</sub>,叶片 K 含量为 N<sub>3</sub> > N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>。在相同的 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 水平下,随 P 肥的施入,叶片的 N、P 含量显著增加。叶片 N 含量变化趋势为 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>0</sub>,叶片 P 含量为 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> > P<sub>1</sub>、P<sub>0</sub>,叶片 K 含量在不同 P 水平间差异不显著。在相同的 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 水平下,随 K 肥的施入,叶片的 N、P 含量显著增加。叶片 N 含量变化趋势为 K<sub>2</sub>、K<sub>1</sub> > K<sub>3</sub> > K<sub>0</sub>,叶片 P 含量为 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> > K<sub>0</sub>、K<sub>3</sub>,叶片 K 含量在不同 K 水平间差异不显著。在 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理下叶片 N、P、K 含量最高。

表 6 氮磷钾配施对叶片的 N、P、K 含量的影响

处理	叶片 N 含量 (mg/g)	叶片 P 含量 (mg/g)	叶片 K 含量 (mg/g)
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	8.26 ± 0.43Ab	0.13 ± 0.03Aa	4.12 ± 0.00Aa
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	21.10 ± 0.25Bg	0.24 ± 0.02Bb	4.35 ± 0.20Aab
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	25.88 ± 0.04Ch	0.24 ± 0.04Bb	4.46 ± 0.29Aab
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	28.36 ± 0.25Di	0.31 ± 0.05Bc	5.14 ± 0.00Bc
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	17.78 ± 0.34Ad	0.15 ± 0.04Aa	4.23 ± 0.20Aab
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	18.72 ± 0.47Be	0.15 ± 0.03Aa	4.12 ± 0.00Aa
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	25.88 ± 0.04Ch	0.24 ± 0.04Bb	4.46 ± 0.29Aab
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	26.31 ± 0.16Ch	0.30 ± 0.02Bc	4.29 ± 0.00Aab
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	14.60 ± 0.42Ac	0.13 ± 0.02Aa	4.29 ± 0.30Aab
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	21.32 ± 0.24Cg	0.24 ± 0.03Bb	4.63 ± 0.51Ab
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	25.88 ± 0.04Dh	0.24 ± 0.04Bb	4.46 ± 0.29Aab
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	20.60 ± 0.04Bf	0.13 ± 0.01Aa	4.46 ± 0.29Aab
CK(N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	7.73 ± 0.10a	0.10 ± 0.02a	4.12 ± 0.00a

3 结论与讨论

干旱胁迫条件下植物的生长会受到抑制,但适量的施肥能够缓解水分亏缺所造成的胁迫并且促进植物生长。常冀原认为,在 P、K 一定时,水分亏缺条件下施 N 对一年生江南油杉幼苗的株高和地径有比较好的促进作用<sup>[14]</sup>。本试验中,干旱胁迫下株高、冠幅和地径增长量随着 N 水平的增加而增加,施 N 对株高和地径的影响与常冀原的结果<sup>[14]</sup>相似。N 作为很多重要有机化合物的组分,是促进植物根、茎、叶生长的主要元素,在土壤干旱情况下,丰富的 N 素可以通过提高植物叶片的束缚水含量从而缓解胁迫。在其他元素水平不变时,P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、K<sub>1</sub> 水平株高、冠幅和地径增长量最明显,说明适量和丰富的 P 肥可以促进新疆圆柏幼苗的生长,但随着 K 肥的增多,株高和地径增长量呈降低的趋势,说明新疆圆柏幼苗在干旱胁迫的环境下不需要过多的 K 肥,充足的 K 肥可以有效地调节植物的溶质和膨压,具有调节水分的作用,保持茎叶挺立,但过量的 K 肥会破坏与其他养分之间的平衡,不利于对矿质元素的吸收<sup>[15]</sup>,抑制了新疆圆柏幼苗的生长。N、P、K 等 3 种元素之间存在交互作用,王小彬等研究了干旱地区施肥对植物的作用,结果表明,N 肥、P 肥和 K 肥之间是相互促进吸收的关系,通过肥料之间的相互作用提高了植物的水分利用率,促进了植物的生长并增强了抗旱性<sup>[16]</sup>。本试验中,N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理对形态指标维持较好。可见在干旱条件下,丰富的 N、P 有利于新疆圆柏幼苗的生长,但当 N、P 肥施用适量时,需重视 K 肥的用量。

当植物遭受干旱胁迫时,植物会产生一系列的生理生化响应来抵御干旱<sup>[17]</sup>,植物体内会积累一种应对干旱的渗透调节物质——脯氨酸,这对增强植物的抗逆性有着重要的作用<sup>[18]</sup>。虽然植物在遭受逆境胁迫时体内会迅速积累渗透调节物质对自身起到保护作用,但植物的一些细胞结构还是会受到破坏,使细胞膜透性增加,并产生细胞膜脂过氧化的产物丙二醛<sup>[19]</sup>。曹微在研究水肥耦合对辽西北沙地胡枝子的影响中发现,干旱胁迫下,P、K 可以降低细胞的膜透性和丙二醛的含量<sup>[20]</sup>。本试验中,在其他元素水平不变时,脯氨酸含量在 N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>K<sub>1</sub> 水平最高而 MDA 和细胞膜透性在 N<sub>3</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>

水平最低,说明丰富的 N 肥和少量的 K 肥可以增加新疆圆柏的抗旱能力和对细胞膜的保护性,其中 P 肥对脯氨酸和膜透性的作用效果不一致,但施入 P 肥对缓解干旱胁迫也起到了良好的作用,这与曹微的研究结果<sup>[20]</sup>相似。

当植物处于逆境时,抗氧化系统和活性氧之间的平衡体系会遭到破坏<sup>[21-22]</sup>。活性氧累积过多会降低 SOD、POD 和 CAT 这些保护酶的活性,从而影响植物细胞正常代谢。在干旱胁迫下,POD、SOD、CAT 等活性氧清除系统的提升能缓解和抵御逆境胁迫<sup>[23]</sup>。王海茹研究发现,P、K 水平一定时,在干旱胁迫下施 N 肥可以提高 SOD 的活性<sup>[24]</sup>。呼红梅等认为,丰富的 N、P 在干旱胁迫下可以提高 SOD、POD 和 CAT 的活性<sup>[25]</sup>。本试验中,当其他元素水平一定时,水分胁迫下 SOD 活性在 N<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 水平,POD、CAT 活性在 N<sub>3</sub>、P<sub>3</sub>、K<sub>2</sub> 水平最高,可见丰富的 N、P、K 用量下,保护酶活性高。本试验中 N 对 SOD 活性的影响与王海茹的研究结果<sup>[24]</sup>相似。CAT 与 POD 活性的变化与呼红梅等的研究结果<sup>[25]</sup>相似。

叶绿素和类胡萝卜素是植物光合作用的基础物质,叶绿素对光合作用产生直接影响,类胡萝卜素可保护光能的吸收<sup>[26]</sup>。在逆境条件下,干旱胁迫会抑制光合色素的合成并加速其分解,从而降低植物的光合作用,影响植物的生长<sup>[27]</sup>。梁银丽等发现,在干旱的条件下,植物可以通过 P 素促进根系的吸收能力从而增加光合色素的含量并提高光合作用<sup>[28]</sup>。本试验中,当其他元素水平一定时,叶绿素含量和根系活跃吸收面积在 N<sub>3</sub>、P<sub>3</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 水平最高,类胡萝卜素含量在 N<sub>3</sub>、P<sub>3</sub> 水平最高,且 K 肥对类胡萝卜素含量的影响不显著。说明丰富的 N 肥和 P 肥有利于增加光合色素从而提高新疆圆柏幼苗的光合作用能力并且增加根系活跃吸收面积从而提高根系吸收能力<sup>[29]</sup>,为植物的生长提供充裕的养分。其中 P 肥对叶绿素、类胡萝卜素含量和根系活跃吸收面积的影响与梁银丽等的研究结果<sup>[28]</sup>相似。

综上所述,在干旱的条件下,通过合理的施肥,新疆圆柏幼苗的脯氨酸含量叶绿素含量和叶片养分含量等指标都显著增加,破坏幼苗细胞膜透性的物质含量也显著降低,从而促使幼苗的株高、冠幅和地径的生长。未经施肥处理的新疆圆柏幼苗在干旱胁迫条件下生理状态表现较差,生长缓慢,说明合理施肥可作为提高园林苗木质量、应对干旱胁迫的重要措施。结合生长和生理指标,N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>(尿素 0.21 g/盆、过磷酸钙 0.65 g/盆、硫酸钾 0.19 g/盆)处理条件下,新疆圆柏幼苗的渗透调节系统、抗氧化系统、根系吸收能力、叶片养分含量和光合作用系统方面的生理特性和生长形态表现良好,可作为亏缺灌溉条件下对新疆圆柏幼苗的施肥管理方案。

#### 参考文献:

- [1]姜逢清,李珍,胡汝骥. 20 世纪下半叶干旱对新疆农业的影响及灾害链效应[J]. 干旱区地理,2005,28(4):49-57.
- [2]James J, Tiller R L, Richards J H. Multiple resources limit plant growth and function in a saline-alkaline desert community[J]. Journal of Ecology,2005,93(4):113-126.
- [3]邢维芹,王林权,骆永明,等. 半干旱地区玉米的水肥空间耦合效应研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):46-49.
- [4]刘娜,宋柏权,杨骥,等. 低温胁迫下甜菜纸筒苗叶喷植物调
- 节剂试验[J]. 中国农学通报,2014,30(34):35-40.
- [5]路超. 苹果水肥耦合效应及树体生理响应研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [6]赵军,闫明,黄毅,等. 新疆圆柏黄酮类成分的研究[J]. 林产化学与工业,2008,5(2):33-37.
- [7]尹卫. 地被植物沙地柏在园林绿化中的应用[J]. 安徽农业科学,2005,33(9):1623-1623,1638.
- [8]魏晓玲. 沙地柏大棚容器扦插育苗技术[J]. 青海农林科技,2004,6(4):58-62.
- [9]孙守文,李宏,李丕军,等. 天山圆柏嫩枝扦插育苗技术研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(4):299-301.
- [10]周全良,张新宁,许明怡,等. 叉子圆柏扦插繁殖技术研究[J]. 宁夏农林科技,2012,53(1):10-12,35.
- [11]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,2000:21-22.
- [12]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:16-27.
- [13]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,2006:15-22.
- [14]常冀原. 施肥对江南油杉幼苗生理特性的影响[D]. 长沙:中南林业科技大学,2015.
- [15]日. 高桥英一,吉野实. 植物营养元素缺乏与过剩诊断[M]. 张善美,译. 长春:吉林科学技术出版社,2002:34.
- [16]王小彬,高绪科,蔡典雄. 旱地农田水肥相互作用的研究[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(3):6-12.
- [17]李屹,黄高峰,孙雪梅. 干旱胁迫对菊芋苗期生长的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(10):75-77.
- [18]何明. 刺槐无性系苗木对水肥耦合的生理生态响应[D]. 北京:北京林业大学,2005.
- [19]邹春静,韩士杰,徐文铎,等. 沙地云杉生态型对干旱胁迫的生理生态响应[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1446-1450.
- [20]曹微. 水肥耦合对辽西北沙地胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turca.)生态生理特性的影响[D]. 沈阳:辽宁大学,2010:72.
- [21]陈博阳,余彬彬,钱晓晴,等. 锌和土霉素胁迫对玉米种子发芽和幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(1):13-18.
- [22]徐微凤,覃和业,刘姣,等. 冰菜在不同浓度海水胁迫下的氧化胁迫和抗氧化酶活性变化[J]. 江苏农业学报,2017,33(4):775-781.
- [23]魏建芬. 水肥交互作用对毛竹幼苗生理特性及生物量的影响[D]. 杭州:浙江农林大学,2011.
- [24]王海茹. 水氮耦合对黍稷生理生态特性及产量的影响[D]. 临汾:山西师范大学,2013:33.
- [25]呼红梅,王莉. 水肥耦合对谷子幼苗形态和生理指标的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(7):1917-1923.
- [26]崔刚,唐蕾,王武. 培养基和外源激素对银杏愈伤组织诱导、生长及叶绿素含量的影响[J]. 食品与生物技术学报,2008,17(2):117-122.
- [27]周维. 氮磷钾配比施肥对格木幼苗生长及光合特性影响的研究[D]. 南宁:广西大学,2016.
- [28]梁银丽,康绍忠. 限量灌水和磷营养对冬小麦产量及水分利用的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):60-67.
- [29]宋海星. 水、氮供应对作物根系生理特性及吸收养分的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2002.