

阮 啸,黄俊华,蒋雪莲. 草原锦鸡儿在干旱地区水肥耦合下的生长与生理响应[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):130-134.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.031

# 草原锦鸡儿在干旱地区水肥耦合下的生长与生理响应

阮 啸,黄俊华,蒋雪莲

(新疆农业大学林学与园艺学院,新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:**为研究水肥交互下草原锦鸡儿一年生幼苗最佳生长水肥配比组合,利用水肥正交试验,测定草原锦鸡儿苗期生长指标、生理生化性状指标,综合分析得出最佳水肥配比组合。在相同施肥处理下,总生物量随着灌水量的增加而增加,株高、株高增长量、组织含水量、各叶绿素含量随着灌水量的增加先逐渐增加再减小,在灌水量为 150 mL/株处理下均呈现最大值。根冠比随着水分的增加而减小;在相同水分处理下,随着钾肥施用量的增加,株高增长量、总生物量、组织含水量总体增加。在相同水分处理下,根冠比随着钾肥施用量的增加先增加后减小,在 K1 处理下达到最大值。在过度灌水时,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加先减少后增加;在重度和轻度干旱处理下,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加逐渐增加。在 CK、K2 施肥处理下脯氨酸含量随着灌水量的增加逐渐减小;在 K1 施肥处理下,脯氨酸含量随着灌水量的增加先增加后减少。适度灌水使丙二醛含量随施钾量的增加先增加后减少,水分胁迫时丙二醛含量随着施钾量的增加而增加;在相同肥料处理下,丙二醛含量随着灌水量的增加而减小。研究发现,在干旱地区合理水肥配比可以缓解一年生草原锦鸡儿生长期水分胁迫的逆境,灌水量为 100 mL/株、每天灌水(可根据植株生长情况与管护成本进行改善),施用 2 号配方肥料是满足干旱区缺水条件下植物生长最佳配置,且成本最低。但是在不缺水地区,同时不考虑经济成本,只考虑生态效益最大化的条件下,建议灌水量为 150 mL/株,施用 4 号肥料,可显著增强锦鸡儿的抗逆性,为其提供充足的生长所需养分。

**关键词:**草原锦鸡儿;水肥交互;生长;生理特性;抗逆性

**中图分类号:** S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0130-05

草原锦鸡儿为豆科锦鸡儿属落叶灌木,多生长于山坡、山前荒原、荒山、荒漠及干坡草地,其繁殖和再生能力强,生长发育快,适应性广,耐寒、耐旱、耐瘠薄,是保持水土和荒山造林的适用树种<sup>[1]</sup>,也是防风固沙、保持水土最理想的灌木树种之一<sup>[2]</sup>。新疆位于干旱地区,荒漠恶化问题亟待解决,因此,开展草原锦鸡儿幼苗水肥大田研究,对节约水资源、提高绿化率有重要意义<sup>[3]</sup>。近年来,对锦鸡儿属植物的研究集中在地理分布、繁殖形式、观赏特性、种子萌发、幼苗耐盐抗旱生理特性以及土壤埋深、不同容器苗基质对锦鸡儿幼苗出土的影响等方面,而关于锦鸡儿属植物大田水肥的研究仅有少量报道。前人多集中对草原锦鸡儿植物种子<sup>[4]</sup>、幼苗的形态、生理特性和单一因素影响下的水分或盐胁迫抗逆性研究,而针对草原锦鸡儿在大田中的水肥交互应用鲜有报道。已有研究多集中在水分或肥料单因素对植物生长与理化的影响上,具有一定的局限性,不能完全解释水肥交互下,水肥耦合作用对植物生长与理化指标的综合影响。本试验以新疆乌鲁木齐市南草滩一年生草原锦鸡儿幼苗为对象,通过水肥正交试验,测定草原锦鸡儿幼苗生长势及生理指标,探究在不同水肥配比下,草原锦鸡儿幼苗生长势、生物量与生理指标的变化规律及其相

关性,选出适合本地区草原锦鸡儿生长的水肥配比方案,以解决其生长缓慢、植株细小的问题,进而加快草原锦鸡儿在荒山绿化中的应用,为其大面积栽培管理提供依据。

## 1 研究区概况

试验地点设在新疆乌鲁木齐市天山区南草滩社区试验地内,试验地土壤类型为褐土,土壤质地为中壤,土壤 pH 值为 7,测得 20 cm 处土层有机质含量为 11.6 g/kg,碱解氮含量为 45.2 mg/kg,速效钾含量为 3.51 mg/kg,有效磷( $P_2O_5$ )含量为 64.44 mg/kg,土壤有效硅( $SiO_2$ )含量为 164.38 mg/kg。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

草原锦鸡儿的种子于 2017 年 7—9 月采自乌鲁木齐县板房沟地区山上,种子成熟、饱满、无虫害,室内阴干去除水分,室温下存储在布袋中保存备用。

### 2.2 试验方法

播种前将保存好的种子用 1% 次氯酸钠消毒 20 min,然后用蒸馏水充分冲洗,再用 70 ℃ 的热水浸泡 24 h。2018 年 4 月 15 日将处理好的种子播种在南草滩试验区,对其进行正常管理,待出苗 45 d 后进行施肥试验。

试验所用肥料具体为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含  $P_2O_5$  15%)、硫酸钾(含  $K_2SO_4$  52%)。采用双因素对草原锦鸡儿进行水肥处理,试验设 4 个灌水梯度和 2 种钾肥含量的氮磷钾配比肥料处理,且设置不施肥对照(CK)处理,施肥配方参考本课题前期关于促进草原锦鸡儿生长的肥料配比试验

收稿日期:2019-01-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:31660088)。

作者简介:阮 啸(1993—),男,安徽太湖人,硕士研究生,主要研究方向为风景园林植物资源应用。E-mail:1206542472@qq.com。

通信作者:黄俊华,博士,教授,主要研究方向为野生植物资源开发与利用。E-mail:huangjunhua-7311@163.com。

结果,具体施肥配比设计见表 1,水肥正交设计见表 2。

试验分为 1 个种、2 个因素,共设 12 个处理,12 块样地,每块样地为经过平整土地后的露天地,种植草原锦鸡儿 120 株,每个处理的样地间隔为 3 m,株距为 10 cm,行距为 15 cm,面积为 4 m<sup>2</sup>,并设置标志牌以便于区分。6 月 1 日将炼苗后幼苗缓苗 2 周。7 月 1 日开始水肥交互试验,每 15 d 施肥 1 次,将所施肥与所需灌水量搅拌溶解后施入;灌水方式为人工用洒水壶均匀浇灌,每天定时定量。

表 1 草原锦鸡儿施肥设计

处理	N (g/15 L)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (g/15 L)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/15 L)
K1	41.37	18.63	0
K2	37.33	16.84	5.78
CK	0	0	0

注:K1 为 2 号肥料,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%)为 6:3:2;K2 为 4 号肥料,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%)为 2:1:1。

表 2 草原锦鸡儿水肥正交设计

处理	A (50 mL/株)	B (100 mL/株)	C (150 mL/株)	D (200 mL/株)
CK	ACK	BCK	CCK	DCK
K1	AK1	BK1	CK1	DK1
K2	AK2	BK2	CK2	DK2

注:A 为重度干旱处理;B 为轻度干旱处理;C 为适度灌水处理;D 为过度灌水处理。

2.3 测定指标与方法

分别于施肥试验前,植株停止生长后测定草原锦鸡儿的株高指标,于秋季植株停止生长后测定主根长及植株整株干、鲜质量;上述指标用电子游标卡尺测量,数据均精确到 0.01 mm。

2.3.1 生长指标 于开春施肥试验前开始定时定位测定草原锦鸡儿的株高、地径、冠幅以及主根长和地上、地下部分的干、鲜质量,于秋季植株停止生长后停止测量,所有测量数据均精确到 0.01 mm。

总生物量 = 地上部分干质量 + 地下部分干质量;  
根冠比 = 地下部分干质量/地上部分干质量(精度 0.01 g)。  
株高的测量:用游标卡尺测量每个重复试验苗木的苗高(从根基部到植株顶端的高度),计算苗高增长率。

株高增长量 = 处理后的苗高 - 处理前的苗高。  
植株主根长及地上、地下部分干、鲜质量的测量:用游标卡尺测量每个重复试验苗木的主根长(从根基部到根尖的长度)。每处理随机选取 4 株,完全整株取出,测定其主根长,然后迅速带回实验室,用蒸馏水将其洗干净,晾干后分别称量地上部分和地下部分鲜质量;然后于 105 ℃烘箱中杀青 15 min,75 ℃下干燥约 12 h 后称质量并记录其地上、地下部分干质量。

2.3.2 生理指标 在秋季幼苗停止生长前选草原锦鸡儿中位叶测定生理指标叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质、脯氨酸、丙二醛含量以及组织含水量、细胞膜透性、根系活力。其中,

组织含水量的测定采用称质量法,可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法,可溶性总糖含量的测定采用蒽酮比色法,叶绿素含量的测定采用丙酮浸提比色法,丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法,根系活力的测定采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法,脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸法。

2.4 统计分析

采用 WPS 和 SPSS 软件进行图表编辑和试验数据的方差分析和统计检验。

3 结果与分析

3.1 水肥交互作用对草原锦鸡儿生长指标的影响

从表 3 可以看出,在相同施肥处理时,总生物量随着灌水量的增加而增加,株高、株高增长量、组织含水量均随着灌水量的增加先增加后减小,在 CK 处理下,CCK 处理组织含水量、株高增长量均达到最大值;在相同水分处理下,随着钾肥施用量的增加,株高增长量、总生物量、组织含水量大体增加。

在相同施肥处理下,根冠比随着灌水量的增加而减小;在相同水分处理下,根冠比随着钾肥施用量的增加先增加后减小,在 K1 处理下达最大值,说明适度增施钾肥对植物生长起促进作用,而过量施用钾肥则会抑制植物生长。

表 3 不同水肥对比对草原锦鸡儿幼苗生长指标的影响

处理	总生物量 (g)	根冠比	组织含水量 (%)	株高 (cm)	株高增长量 (cm)
ACK	0.80	0.35	12.41	71.49	37.45
BCK	1.00	0.25	22.11	103.18	74.75
CCK	1.08	0.22	24.80	100.86	75.31
DCK	1.25	0.18	20.97	79.39	40.39
AK1	0.89	0.48	12.15	72.24	46.65
BK1	1.02	0.35	17.51	109.53	87.26
CK1	1.14	0.27	28.86	155.36	114.90
DK1	1.29	0.25	27.78	82.58	41.69
AK2	0.82	0.22	17.30	98.06	68.31
BK2	1.12	0.18	19.84	122.23	90.57
CK2	1.51	0.15	29.93	159.22	127.63
DK2	1.58	0.14	28.89	96.27	71.71

3.2 水肥交互作用对草原锦鸡儿生理指标的影响

3.2.1 水肥交互作用对草原锦鸡儿根系活力的影响 由图 1 可知,在 CK 处理和 K2 处理的同一施肥处理下,随着灌水量的增加,根系活力的大小顺序依次是为 D > B > C > A,在 D 水平水分处理下表现最佳;在 A、C 水平水分处理下,根系活力表现为 AK1 > ACK > AK2、CK1 > CCK > CK2,其中 AK1、CK1 表现最佳,分别较 ACK、CCK 增加 259.71%、19.03%;在 B、D 水平的水分处理下,根系活力表现为 BCK > BK2 > BK1、DCK > DK2 > DK1,不同程度的干旱胁迫下,施肥量对物质积累的影响表现不同,但各处理中至少有 1 种肥料施加后会产生明显促进作用。

3.2.2 水肥交互作用对草原锦鸡儿光合生理指标的影响 由图 2 可知,在 CK、K1 处理下,随着灌水量的增加,总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量呈先增加后减小的趋势,在 CCK、CK1 处理下表现最佳,此时水分和肥料对植物生长表现为促进作用。在 K2 处理下,AK2 处理大于其他水分梯度处理的

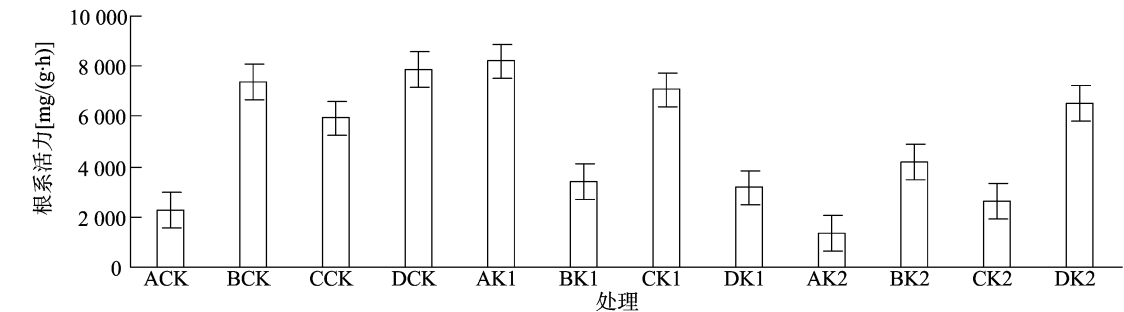


图1 水肥交互作用对草原锦鸡儿根系活力的影响

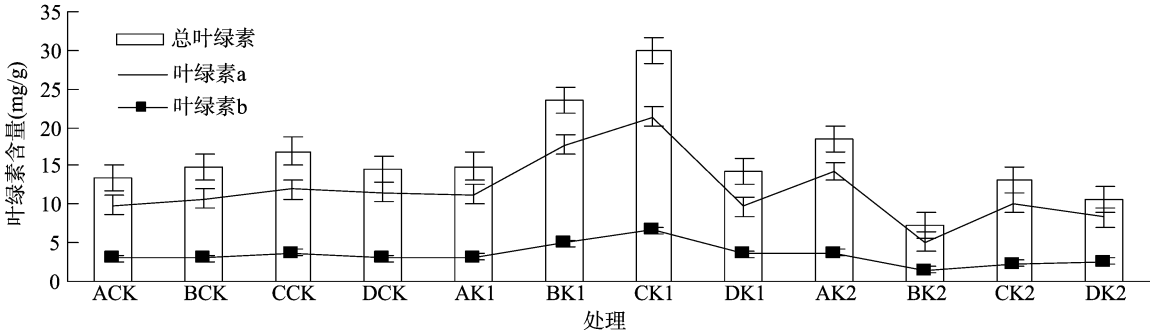


图2 水肥交互作用对草原锦鸡儿光合指标的影响

各叶绿素含量;在相同灌水量处理下,各叶绿素含量表现为  $AK2 > AK1 > ACK$ ,  $BK1 > BCK > BK2$ ,  $CK1 > CCK > CK2$ ,  $DCK > DK1 > DK2$ 。

3.2.3 水肥交互作用对草原锦鸡儿渗透调节物质的影响  
由图3可知,在 K1、K2 处理下,随着灌水量的增加,细胞膜透

性的变化趋势表现为先减小后增加。在 A、B 处理下,细胞膜透性随着肥料中钾肥含量的增加出现先增大后减小的趋势;在适度灌水处理下,细胞膜透性随施钾量的增加整体呈减小趋势;在过度灌水处理下,细胞膜透性随施钾量的增加呈增大趋势,在 K2 处理下涨幅不明显。

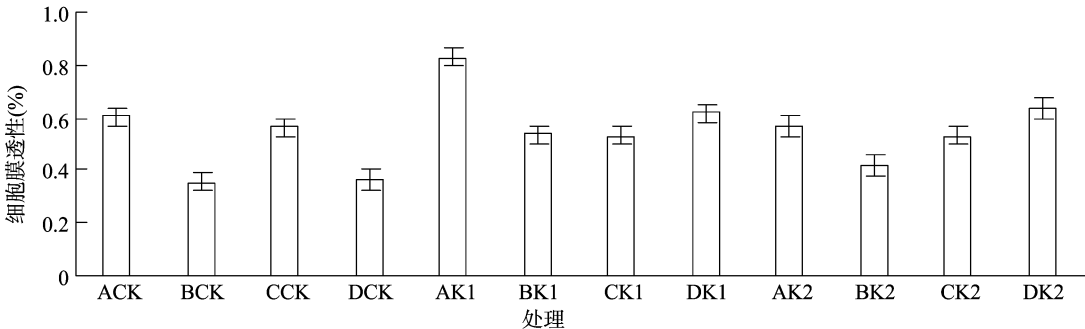


图3 水肥交互作用对草原锦鸡儿细胞膜透性的影响

由表4可知,各处理可溶性糖含量差异明显。在空白施肥处理时,可溶性糖含量随着灌水量的增加而增加;在施肥处理中,可溶性糖含量总体随着灌水量的增加先增加再减少,分别在 CK1、BK2 处理下达到最大值。在过度灌水时,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加先减少后增加;在 A、B 处理下,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加而逐渐增加的整体趋势明显;在 C 处理下,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加先增加后减少;在 D 处理下,可溶性糖含量随着钾肥施用量的增加先减少后增加。

由表4可知,各处理之间脯氨酸、丙二醛含量差异明显。在 K2 和 CK 处理下,脯氨酸含量随着灌水量的增加逐渐减少。在 K1 处理下,脯氨酸含量随着灌水量的增加先增加后减少。在适度灌水处理下,丙二醛含量随着施钾量的增加先增加后减少;在 D 处理下,丙二醛含量随着钾肥施用量的增

加而增加;在相同施肥处理下,丙二醛含量随着灌水量的增加而减少。在 A、B 处理下,蛋白质含量随着钾肥施用量的增加先增加后减少;在 C、D 处理下,蛋白质含量随着钾肥施用量的增加而减少。

由表4可知,各处理之间蛋白质含量差异明显。在 CK、K1 处理下,蛋白质含量随着灌水量的增加先增加后减少,分别在 CCK、CK1 处理下达到最大值。在 K2 处理下,蛋白质含量随着灌水量的增加而增加。在 A、B 处理下,蛋白质含量随着钾肥施用量的增加先增加后减少;在 C、D 处理下,蛋白质含量随钾肥施用量的增加而减少。

#### 4 讨论与结论

##### 4.1 讨论

水分和养分对作物的生长作用不是孤立的,而是相互作

表 4 不同水肥配比对草原锦鸡儿幼苗生理指标的影响

处理	可溶性糖含量 (mg/g)	蛋白质含量 (mg/g)	脯氨酸含量 (mg/kg)	丙二醛含量 (nmol/g)
ACK	8.337 ± 0.037cd	6.098 ± 0.343bc	8.75 ± 0.84a	18.393 4 ± 155bc
BCK	8.914 ± 0.149cd	6.143 ± 0.200bc	6.75 ± 0.23c	17.048 0 ± 342bc
CCK	9.790 ± 0.074bc	10.235 ± 0.171a	5.23 ± 0.44b	16.907 0 ± 531abc
DCK	11.382 ± 0.831bc	8.756 ± 0.945ab	4.60 ± 0.58b	15.585 1 ± 766c
AK1	10.068 ± 0.653bc	6.578 ± 0.759bc	4.29 ± 1.83bc	20.967 1 ± 310abc
BK1	11.310 ± 2.429bc	6.960 ± 0.515bc	5.48 ± 0.80b	20.719 2 ± 416abc
CK1	11.870 ± 9.342b	8.118 ± 0.501abc	5.59 ± 0.89bc	19.929 5 ± 310abc
DK1	4.214 ± 0.261e	7.713 ± 1.389abc	4.47 ± 0.91bc	16.595 0 ± 197bc
AK2	10.134 ± 0.298bc	5.890 ± 0.157c	6.09 ± 0.70b	21.577 0 ± 399abc
BK2	11.762 ± 0.373a	6.134 ± 3.352bc	5.28 ± 1.74b	20.756 8 ± 122ab
CK2	8.105 ± 2.550cd	6.487 ± 0.257bc	4.63 ± 1.43ab	19.163 1 ± 555a
DK2	8.799 ± 0.485cd	7.632 ± 0.616bc	4.17 ± 0.30a	18.688 1 ± 841ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理之间在 0.05 水平上差异显著。

用、相互影响。水分不足会影响营养物质的运输和传递,肥力不足会影响根系对水分的吸收和利用<sup>[5]</sup>。水肥耦合对植物的影响不可忽视,合理施肥具有一定的调水作用,适量灌溉可起到调肥作用,因此需要找到水肥耦合最佳的结合点,以提高水分利用效率以及作物生长效益和品质。

4.1.1 水分对草原锦鸡儿生长的影响 灌水量的增加必然增加了土壤含水量,而土壤水分对作物根系生长分布影响较大,当适度亏缺灌溉时,作物根系会向更深层次生长,以吸收水分和养分,这是植物对干旱环境的适应表现<sup>[6]</sup>。

根系活力随着灌水量的增加呈波动变化趋势,根冠比随着灌水量的增加而减小,根冠比随着钾肥施用量的增加先增大后减小,在 K1 肥料处理时取最大值。水分不足会抑制植物地上部生长,促进根系生长,使根冠比增加,与前人得出的中干旱胁迫能够提高植物根冠比的研究结果<sup>[7-8]</sup>一致。而高灌水量使根冠比减小,可能是因为过量灌水会影响土壤的通透性,使植物吸水能力降低,根系呼吸作用减弱,从而影响根系的生长发育,同时还会导致土壤中养分的淋溶,造成水肥的浪费<sup>[9]</sup>,本研究发现,高灌水量情况下根系活力下降,与上述结果一致。

本研究结果得出,在相同肥料条件下,株高增长量、组织含水量随着灌水量的增加先增加后减少,在灌水量为 150 mL/株时均呈现最大值。前人研究结果中已经证明,增加施肥量和灌水量对番茄的干物质积累都有明显地促进作用<sup>[10]</sup>,可以缓解植物遭受干旱胁迫的程度,本试验中,植株总生物量研究结果与之一致。

4.1.2 水分对草原锦鸡儿生理的影响 光合作用对干旱胁迫尤为敏感<sup>[11]</sup>,叶绿素含量主要受土壤水分含量影响<sup>[12]</sup>,水分胁迫可使叶绿素含量降低<sup>[13]</sup>,抗性强的植物叶绿素含量减少的幅度较小。而本研究结果中,随着灌水量的增加,总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量先增加再降低,重度干旱胁迫时植物叶绿素含量降低,与现有研究结论基本一致,且已在许多作物上被证实,而增加后出现减小的现象是因为钾肥的增加抑制了植物的吸水能力,降低了植物组织含水量,导致植物叶绿素相关指标有所下降。

膜透性反映植物细胞膜系统损伤程度、控制物质进出的

能力、调节植物内外渗透平衡<sup>[14]</sup>。本研究结果中,在 A、B 水分处理下,随着钾肥施用量的增加,膜透性先增加后减小,说明在干旱胁迫环境下,适度增施钾肥可以增强植物的抗旱能力。在 K1、K2 施肥处理下,随着灌水量的增加膜透性先减小再增加,说明适量灌水有利于缓解由于干旱胁迫造成的膜损伤,而过度灌水反而增加细胞膜透性,降低植物耐旱能力。随着水分胁迫的减缓,丙二醛含量减小,符合植物逆境生理的响应,与崔月的研究结果<sup>[15]</sup>一致。

组织含水量增加可引起植物呼吸速率增加,加快物质的运输与转化,不利于植物可溶性糖、蛋白质等营养物质的积累,反而降低植物光合作用速率,不利于渗透调节物质脯氨酸的积累<sup>[16]</sup>,本研究发现的蛋白质含量随水分增加先增加后减小的规律与之一致。王立河等研究表明,适当提高灌水量能够促进植物植株增长,水分胁迫下,植物渗透调节物质如可溶性糖、淀粉、脯氨酸含量均有增加,与可溶性糖、脯氨酸含量在不施肥情况下随着灌水量的增加而增加<sup>[17]</sup>的研究结果一致。

在果实、经济作物研究中也已经证实,随着灌水量的增加,作物产量和品质有下降的趋势,过量灌水会显著降低作物品质和产量<sup>[18]</sup>。陈修斌等证实,水肥耦合时,主次因素分别为水分、钾肥<sup>[19]</sup>。所以灌水量的控制十分重要,一方面可提高植物的存活率和生长效益,另一方面可减少水资源的浪费。

4.1.3 肥料对草原锦鸡儿生长的影响 肥料对草原锦鸡儿生长指标的影响突出,在相同水分处理下,随着钾肥施用量的增加,株高增长量、总生物量总体上逐渐增加。陈碧华等研究表明,番茄的茎粗、株高等生长指标与施肥量及灌水量成正比,且施肥量的影响大于灌水量<sup>[20]</sup>。本研究中,适量的氮、磷、钾能够保证植物的正常生长,在轻度干旱胁迫的情况下,适当增施钾肥有利于提高植物的抗旱能力,在 K1、K2 处理下,随着灌水量的增加,总生物量增加,根冠比减小,组织含水量先减小后增加再减小。高方胜等研究发现,增加灌水量可以增大番茄的茎粗、株高及干物质含量<sup>[21]</sup>。增加后再减小是因为,在干旱区严重干旱胁迫的情况下,过度施用钾肥反而影响植物的渗透调节和物质运输、抑制植物营养物质积累和呼吸光合作用,降低植物的抗旱能力,从而降低生长速率甚至是拮抗作用。史奕等以小麦为研究对象,研究表明,影响小麦根

系活力的主要因素是肥料,增加施肥量可以提高小麦的根系活力<sup>[22]</sup>。但是本研究结果中,在钾肥施用量最大时有些生长指标反而减小,是因为肥料的作用主要是维持植物所需养分和土壤与植物之间的渗透势,过量反而抑制植物的生长<sup>[23]</sup>,降低根系活力,不利于根系生长,同时抑制叶绿素的合成转化,减少植物光合作用速率,不利于物质积累和植株生长发育。

4.1.4 肥料对草原锦鸡儿生理的影响 有研究表明,可溶性蛋白质含量与植物细胞渗透势的调节有关,高含量的可溶性蛋白质可帮助植物细胞维持较低的渗透势,以抵抗水分胁迫带来的伤害<sup>[24]</sup>,适当增加钾肥可以提高植物中的可溶性蛋白质含量<sup>[25]</sup>,李瑞等在缺钾棕壤土上通过土培试验研究表明,钾肥可以促进冬小麦根系生长,提高生育期根系活力和可溶性糖含量<sup>[26]</sup>。郭修武等将无核白鸡心葡萄置于水分胁迫条件下进行配比施肥试验,结果表明,不同水肥处理条件下,脯氨酸含量和丙二醛含量随水分胁迫时间的延长而变化,随胁迫程度的加剧而呈上升趋势<sup>[27]</sup>,本研究结果与之相似。

本试验在干旱区水肥交互条件下研究了草原锦鸡儿在大田试验中生长与生理的响应差异,具有较强的荒山绿化苗木水肥实践应用指导意义,后期可以针对不同生长类型的苗木进行不同时期、不同肥料配比、管护方式、灌溉方式等方面的深入研究,以满足不同条件下苗木的生长需要。

## 4.2 结论

本研究通过不同钾肥含量的氮磷钾肥料水肥配比试验,证明尿素(含 N 46%) : 过磷酸钙(含  $P_2O_5$  15%) : 硫酸钾(含  $K_2O$  52%) 为 6 : 3 : 2 的配比施肥方案在干旱地区促进植物植株增长效果最佳,是因为适当增加钾肥施用量,有利于提高植物的抗旱能力,过量施用钾肥反而影响土壤渗透势,改变土壤与植物之间的物质运输平衡,进而造成植物失水,加重干旱胁迫。

水肥交互对农林生产的影响不可忽视,建议在干旱地区进行配比施肥时,注意水肥配比,同时提供适量的钾肥,以提高植物对环境的适应能力,特别是在干旱或半干旱地区等环境相对恶劣的地区。本研究得出,在水分充足时,CK2 处理下,植株生长情况最佳;在中度和重度干旱时,K1 处理表现较好,BK1 处理下植株生长情况与抗旱能力表现最佳。表明在干旱地区施用适量的钾肥可以缓解一年生草原锦鸡儿生长时期水分胁迫的逆境。灌水量为 100 mL/株、每天灌水,施用 2 号配方肥料是满足干旱区缺水条件下植物生长的最佳配置,且成本最低。但是在不缺水地区,同时不考虑经济成本,只考虑生态效益最大化的条件下,建议使用灌水量为 150 mL/株、每天灌水、施用 4 号肥料[尿素(含 N 46%) : 过磷酸钙(含  $P_2O_5$  15%) : 硫酸钾(含  $K_2O$  52%) 为 2 : 1 : 1]处理,可显著增强锦鸡儿的抗逆性,为其提供充足的生长所需养分,保障植物茁壮成长。

## 参考文献:

- [1] 刘 艳. 3 个沙地造林树种的施肥试验效果[J]. 防护林科技, 2014(4): 42-44.
- [2] 官跃忠, 张 旭. 柠条在黑龙江省西部造林技术中的应用[J]. 林业科技情报, 2009, 41(1): 37-38.
- [3] 苗昊翠. 新疆四种锦鸡儿属植物的生物学特性研究及园林应用评价[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
- [4] 杨 玲, 翟晓杰, 沈海龙. 濒危树种极东锦鸡儿种子的萌发特性[J]. 森林工程, 2012, 28(5): 1-5.
- [5] 周明耀, 赵瑞龙, 顾玉芬, 等. 水肥耦合对水稻地上部分生长与生理性状的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 38-43.
- [6] 范凤翠, 张立峰, 李志宏, 等. 日光温室黄瓜根系分布特征及其对土壤水分环境的响应[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(11): 4808-4810.
- [7] 徐炳成, 山 仑, 黄 瑾, 等. 柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比的比较[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 73-77.
- [8] 肖春旺, 周广胜, 马风云. 施水量变化对毛乌素沙地优势植物形态与生长的影响[J]. 植物生态学报, 2002, 26(1): 69-76.
- [9] 张学营. 水、氮管理下华北平原土壤硝态氮的作物利用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [10] 邢英英, 张富仓, 张 燕, 等. 膜下滴灌水肥耦合促进番茄养分吸收及生长[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 70-80.
- [11] Chaitanya K V, Jutur P P, Sundar D. Water stress effects on photosynthesis in different mulberry cultivars [J]. Plant Growth Regulation, 2003, 40(1): 75-80.
- [12] Farghali, Diurnal K A. Variations of chlorophyll and dry matter content of senna occidentalis in response to zinc and soil moisture [J]. Biologia Plantarum, 1998, 40: 419-424.
- [13] 薛 崧, 汪沛洪, 许大全, 等. 水分胁迫对冬小麦  $CO_2$  同化作用的影响[J]. 植物生理学报, 1992, 18(1): 1-7.
- [14] 陈立松, 刘星辉. 水分胁迫对龙眼幼苗叶片膜脂过氧化及内源保护体系的影响[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(2): 105-109.
- [15] 崔 月. 水分胁迫对豌豆生理生化的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [16] 姚 华, 赵晓英, 李晓梅, 等. 四种灌木幼苗对水分胁迫的生长响应[J]. 干旱区研究, 2009, 26(5): 720-726.
- [17] 王立河, 孙新政, 赵喜茹, 等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 237-242.
- [18] 张自坤, 刘作新, 张 颖, 等. 日光温室黄瓜地下滴灌灌溉制度的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 76-81.
- [19] 陈修斌, 潘 林, 王勤礼, 等. 温室番茄不同水肥处理数学模型及其优化方案研究[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 138-141.
- [20] 陈碧华, 邵庆炉, 杨和连, 等. 日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响[J]. 广东农业科学, 2008(8): 63-65, 78.
- [21] 高方胜, 徐 坤. 土壤水分对不同季节番茄产量及氮磷钾吸收分配特性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(9): 1722-1727.
- [22] 史 奕, 鲁彩艳, 郑 靖, 等. 不同施肥与耕作处理对黑土 POM-C 的影响研究[J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 71-73.
- [23] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 日光温室甜瓜根系生长及单果重的水氮耦合效应[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1996-2006.
- [24] 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.
- [25] 张立新. 氮, 钾, 甜菜碱对提高作物抗旱性的效果及其生理机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [26] 李 瑞, 李絮花, 杨守祥, 等. 钾对冬小麦根系生理性状及地上部生长的影响[J]. 土壤肥料, 2003(4): 16-19.
- [27] 郭修武, 王丛丛, 周兴本, 等. 水分胁迫下肥料配比对葡萄生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 140-145.