

马慧敏,图拉,高世华.水肥互作对水曲柳氮代谢和光合特性的影响[J].江苏农业科学,2022,50(20):168-173.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.025

# 水肥互作对水曲柳氮代谢和光合特性的影响

马慧敏,图拉,高世华

(内蒙古农业大学职业技术学院,内蒙古包头 014109)

**摘要:**为研究水分和氮肥互作对水曲柳碳氮代谢及光合特性的影响,采用桶栽试验,设置高氮 24 g/桶(N1)、中氮 12 g/桶(N2)和低氮 0.5 g/桶(N3)等 3 个施肥水平,充分灌溉(W1)、轻度亏水灌溉(W2)和重度亏水灌溉(W3)等 3 个灌溉水平,组成 9 个处理,研究了水曲柳氮代谢关键酶活性、渗透调节物质、叶绿素含量、光合参数等变化特征。结果表明,充分灌水和适量氮肥可促进氮代谢关键酶活性的增加,可溶性糖和可溶性蛋白含量随施氮量的减少呈逐渐降低的趋势,随亏水程度的增加呈先升高后降低的趋势。高氮充分灌水处理的叶绿素含量和净光合速率最高,随氮肥和亏水程度的增加呈降低的变化,且和氮肥对水曲柳 GS、可溶性糖、可溶性蛋白、光合色素及蒸腾速率有显著的互作效应。研究说明,氮代谢和光合作用对水分和氮素的响应存在差异,且存在互作效应,充足灌水有利于植物光合作用,而轻度亏水有利于氮素代谢和转运,且在轻度亏水条件下,保证氮肥的充足供应,仍然能够保证水曲柳叶片正常的光合水平,保证植株的正常生长。

**关键词:**水曲柳;水肥调控;氮代谢;光合特性

**中图分类号:**S718.43;S718.45 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)20-0168-06

水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)是我国东北地区重要的珍贵树种,具有较高的经济和生态价

值<sup>[1]</sup>,但是大规模的采伐利用,使得水曲柳天然林的数量急剧下降,为恢复水曲柳木材的供应能力,进行了大规模的人工造林,但由于缺乏系统的培育技术体系,集约化程度不高,导致培育周期长、效率低,限制了水曲柳人工林的培育<sup>[2]</sup>。因此通过合理的技术措施培育健康的水曲柳幼苗对生产和生态有重要的研究意义。

水分是植物物质组成和养分运输的重要物质,

收稿日期:2021-10-28

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(编号:NJZY21515)。

作者简介:马慧敏(1993—),女,内蒙古土默特左旗人,助理实验师,

研究方向为园林栽培。E-mail:mnhle123456@126.com。

通信作者:图拉,硕士,讲师,研究方向为生态园林。

[26]胡琳莉. 铵营养缓解小型大白菜幼苗弱光胁迫的生理和分子机制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.

[27]赵永平,赵盟,朱亚,等. 不同氮素形态对比对鲜食甜糯玉米光合特性和农艺指标的影响[J]. 江西农业学报,2019,31(12):38-42.

[28]Zebarth B J,Tai H,Luo S N,et al. Effect of nitrogen form on gene expression in leaf tissue of greenhouse grown potatoes during three stages of growth[J]. American Journal of Potato Research,2012,89(4):315-327.

[29]何志学. 氮素水平对辣椒生长生理和养分利用的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.

[30]罗雪华,邹碧霞,吴菊群,等. 氮水平和形态对比对巴西橡胶树花药苗生长及氮代谢、光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):693-701.

[31]Sun Y D,Luo W R,Liu H C. Effects of different nitrogen forms on the contents of chlorophyll and mineral elements in Chinese chive seedlings[J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014,6(5):696-700.

[32]刘会芳,韩宏伟,庄红梅,等. 氮素形态对盐胁迫下辣椒幼苗生长及光合特性的影响[J]. 新疆农业科学,2019,56(5):855-863.

[33]胡海非,张巧柔,吴卫东,等. 氮素形态对油麦菜幼苗光合作用及其荧光特性的影响[J]. 热带作物学报,2016,37(1):7-14.

[34]卞赛男,常鹏杰,王宁杭,等. 氮素形态对喜树叶片生长、叶绿素荧光参数及叶绿体相关基因表达的影响[J]. 浙江农林大学学报,2019,36(5):908-916.

[35]黎冰,侍朋宝,栾雪涛,等. 硝酸态氮不同配比对葡萄新梢生长和叶片光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):73-83.

[36]Roosta H R,Estaji A,Niknam F. Effect of iron,zinc and manganese shortage - induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce [J]. Photosynthetica,2018,56(2):606-615.

[37]胡琳莉,廖伟彪,马彦霞,等. 弱光下不同铵硝配比氮素对大白菜幼苗生长和抗氧化的影响[J]. 园艺学报,2016,43(5):897-906.

决定着植物的生长代谢<sup>[3]</sup>。氮素是植物生长必需的营养元素之一,氮素的营养状况直接影响植物的生长<sup>[4]</sup>。水分和氮素对植物生长至关重要,虽然 2 个吸收代谢过程是相互独立的,但是也存在相互联系。一方面,植物通过吸收氮素,促进根系生长和空间结构的形成,利于对水分的吸收<sup>[5]</sup>;另一方面,氮素通过水分进行质流、截获或扩散的方式在根系表面停留从而被根系吸收<sup>[6]</sup>。因此,合理的水氮配制,有利于养分的迁移和根系对养分的吸收<sup>[7]</sup>。研究表明,协调好水氮关系有利于改善叶片光合特性,促进植物生长<sup>[8]</sup>。于景麟等研究表明,缺水影响毛白杨对氮素的吸收和利用,而缺氮同样降低水分的利用效率,水和氮在植物生长中相互制约又相互促进<sup>[9]</sup>。

刘小刚等研究表明,缺水条件下,使用氮肥能够促进植株根系的吸收运输能力,增加植株体渗透物质的积累,提高植株对干旱的抵抗能力,改善植株水分状况,从而提高光合速率<sup>[10]</sup>。也有研究认为,水氮可通过影响植株叶片气孔开度、叶片色素等因素,提高作物光合能力,促进植株的生长<sup>[11]</sup>。闫承宏等研究表明,水分和氮素能够提高柳枝稷叶片叶绿素含量和光合效率,显著增加植株的物质积累量,且水分对植株的效应大于水氮耦合<sup>[12]</sup>。然而目前关于水曲柳的研究,主要集中在水分或氮肥的单因素方面<sup>[13-15]</sup>,鲜有研究水曲柳生长水肥间的关系,缺乏针对性。而水分和养分单因素对苗木生理的影响与水肥互作不一致,因此,水分和养分协同作用于植株的生长生理特性和光合特性是一个值得探讨的问题。本试验旨在进一步了解水曲柳幼苗需水、需氮特性,分析其交互效应,探索水曲柳幼苗在水分亏缺和不同供氮量下的氮代谢和光合特性的变化特征,为明确水曲柳苗木对不同环境的适应性提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2019 年 4—8 月在试验基地的温室内进行。选用 1 年生水曲柳树苗,挑选株高、基径、根系大小一致(平均苗高为 32 cm,平均地径为 1.0 cm),具有饱满顶芽,无机械损伤的苗木,栽植前用清水冲去根系表面的泥土,栽植到装有蛭石的塑料桶中进行缓苗,桶的直径为 30.0 cm,高为 26.5 cm。苗木定植后每 3 d 浇 1 次 Hoagland 营养液,每次

200 mL/桶,培养 1 个月后用于试验。试验用土壤取自疏林草地,按照壤土:沙子为 2:1 的比例配制,土壤 pH 值为 6.8,有机质 6.75 g/kg,碱解氮 6.57 mg/kg,速效磷 3.64 mg/kg,速效钾 45.82 mg/kg。试验所用氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含  $P_2O_5$  12%)和氯化钾(含  $K_2O$  60%)。

### 1.2 试验设计

试验采用完全随机设计,设置高氮 24 g/桶(N1)、中氮 12 g/桶(N2)和低氮 0.5 g/桶(N3)等 3 个施肥水平,充分灌溉(W1,土壤含水量为田间持水量的 70%~80%)、轻度亏水灌溉(W2,土壤含水量为田间持水量的 50%~60%)和重度亏水灌溉(W3,土壤含水量为田间持水量的 30%~40%)等 3 个灌溉水平,共 9 个处理。每个处理同时施入  $P_2O_5$  9 g/桶, $K_2O$  9 g/桶,和各处理的氮肥一起掺混均匀,将配制好的土壤填入直径为 30.0 cm,高为 26.5 cm 的桶中,每桶填装干土 12 kg,随后浇透水 1 次,放置 3 d,将预处理后的苗木取出,移栽到桶中,每个处理重复 9 次。待所有苗木在桶中定植培养 1 个月后,进行灌水处理,土壤含水量采用 EM-50(美国,Decagon 公司)和称质量法相结合的方式来进行控水,定期补充水分。处理 40 d 后取样进行测定。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 氮代谢关键酶活性的测定 样品选用生长部位一致的叶片,在晴天上午迅速取下,放置在冰袋上,擦干净表面的水分和尘土,迅速用液氮冷冻,保存在超低温冰箱中备用。酶液提取参考文献[16],硝酸还原酶(NR)测定参考文献[17],以  $NO_2^-$  生成量 [ $\mu g/(g \cdot h)$ ] 表示酶活性。谷氨酰胺合成酶(GS)测定参考文献[18]。

1.3.2 可溶性糖和可溶性蛋白含量的测定 可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝法<sup>[19]</sup>测定,可溶性糖含量采用蒽酮试剂法<sup>[19]</sup>测定。

1.3.3 叶绿素含量的测定 光合色素含量测定采用乙醇提取法,按照公式计算叶绿素 a、叶绿素 b 的含量<sup>[20]</sup>。

1.3.4 光合参数的测定 在水曲柳幼苗处理后 40 d,使用 Li-6400 便携式光合测定系统(LI-COR, Inc, USA),在晴天上午,测定净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )等光合参数。测量重复 3 次。

## 1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 和 Microsoft Excel 2010 软件分析试验所得数据和作图,采用新复极差多重比较法(Duncan's)进行差异显著性检验( $\alpha = 0.05$ ),并对数据进行双因素方差分析(two-way ANOVA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 水肥互作对水曲柳 NR 活性的影响

NR 是氮代谢过程中的关键酶和限速酶,由图 1 可知,水分和氮肥对水曲柳 NR 活性有显著影响,在同一施氮量处理下,随亏水程度的增加呈逐渐下降的变化趋势,在 N2W1 处理时达到最大值,显著高于其他处理。在高氮处理下, N1W1 处理分别比 N1W2 和 N1W3 高 7.44% 和 12.06%,差异显著;在中氮和低氮处理下,处理间差异均显著。在同一水分处理下, NR 活性随施氮量的减少呈先升高后降低的变化趋势,在充分灌水处理下, N2W2 > N2W3 > N2W1,处理间差异均显著,在轻度亏水和重度亏水处理下,变化趋势和充分灌水相似,处理间差异均显著。

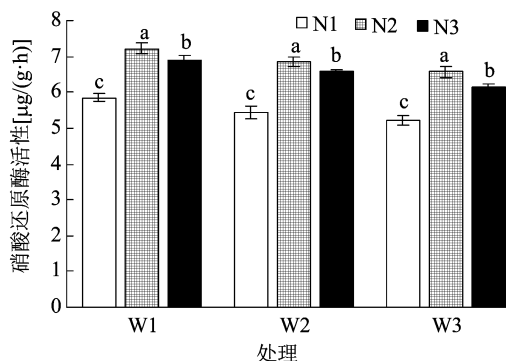


图1 水肥互作下水曲柳 NR 活性

### 2.2 水肥互作对水曲柳 GS 活性的影响

由图 2 可知,水分和氮肥对水曲柳 GS 活性有显著影响。在高氮和低氮处理下,随亏水程度的增

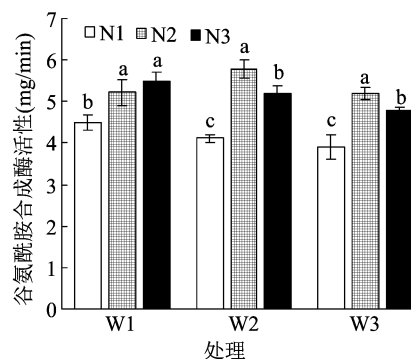


图2 水肥互作下水曲柳 GS 活性

加,GS 活性呈下降的趋势, N1W1 处理分别比 N1W2 和 N1W3 高 9.46% 和 15.27%,差异显著。在低氮处理下, N3W1 和 N3W2 处理分别比 N3W3 高 14.57% 和 8.73%,差异显著。在中氮处理下,随亏水程度的增加呈先升高后降低的趋势, N2W2 分别比 N2W1 和 N2W3 高 11.02% 和 11.29%。在充分灌溉处理下,随氮肥用量的减少,GS 活性呈逐渐升高的趋势, N2W1 和 N3W1 比 N1W1 高 15.76% 和 21.76%。在轻度亏水和重度亏水处理下,随氮肥用量的减少,GS 活性呈先升高后降低的变化趋势。 N2W2 处理的 GS 活性最高,显著高于其他处理。

### 2.3 水肥互作对水曲柳叶片可溶性糖含量的影响

由图 3 可知,可溶性糖含量在同一氮肥处理下,随亏水程度的增加呈先升高后降低的趋势,在高氮处理下, N1W2 分别比 N1W1 和 N1W3 高 30.41% 和 28.92%,差异显著;在中氮处理下, N2W2 分别比 N2W1 和 N2W3 高 22.06% 和 25.07%;在低氮处理下, N3W2 分别比 N3W1 和 N3W3 高 13.01% 和 11.89%。在同一灌水量处理下,可溶性糖含量随氮肥用量的减少呈逐渐下降的趋势,在充足灌水处理下, N1W1 分别比 N2W1 和 N3W1 高 13.18% 和 22.20%,差异显著。在轻度亏水处理下,表现为 N1W2 > N2W2 > N3W2,处理间差异均显著。在重度亏水处理下, N1W3 分别比 N2W3 和 N3W3 高 21.91% 和 41.02%。

### 2.4 水肥互作对水曲柳叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 4 可知,可溶性蛋白含量在高氮处理下,随亏水程度的增加,呈逐渐增加的变化趋势, N1W2 和 N1W3 分别比 N1W1 高 19.39% 和 25.86%,差异显著。在中氮和低氮处理下,随亏水程度的增加呈先升高后降低的变化趋势,在中氮处理下,表现为 N2W2 > N2W3 > N2W1,处理间差异均显著, N2W2

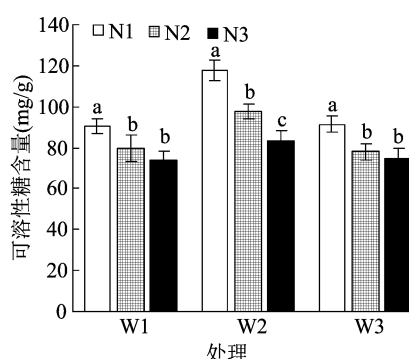


图3 水肥互作下水曲柳叶片可溶性糖含量

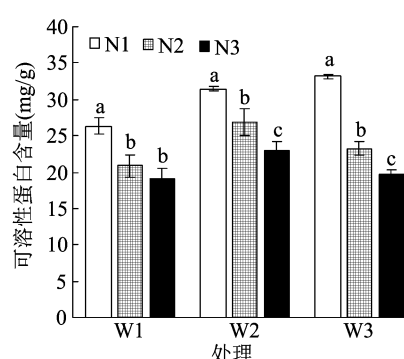


图4 水肥互作下水曲柳叶片可溶性蛋白含量

和 N2W3 分别比 N2W1 高 28.61% 和 11.59%。N1W3 处理可溶性蛋白含量最高。在同一灌水量处理下,随氮肥施用量的减少,可溶性蛋白含量呈逐渐降低的趋势。

2.5 水曲柳 NR、GS、可溶性蛋白和可溶性糖方差分析

由表 1 可知,氮肥和水分对水曲柳叶片 NR、GS、可溶性糖和可溶性蛋白产生极显著影响,两者的交互作用对 NR 活性影响不显著,对可溶性糖影响达显著水平,对 GS 和可溶性糖含量的影响达极显著水平。

表 1 水曲柳 NR、GS、可溶性蛋白和可溶性糖方差分析				
变异来源	NR	GS	可溶性糖	可溶性蛋白
N	**	**	**	**
W	**	**	**	**
N × W	NS	**	*	**

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关显著,NS 表示相关不显著。下表同。

2.6 水肥互作对水曲柳光合色素的影响

叶绿素是植物进行光合作用的基础。由表 2 可知,在同一氮肥处理下,叶绿素 a 含量随亏水程度的增加呈逐渐降低的变化趋势,在高氮处理下,N1W1 和 N1W2 分别比 N1W3 高 18.55% 和 7.41%,差异显著;在中氮处理下,N2W1 分别比 N2W2 和 N2W3 高 7.59% 和 19.94%;在低氮处理下,N3W1 分别比 N3W2 和 N3W3 高 5.99% 和 19.18%。在同灌水量处理下,叶绿素 a 含量随氮肥用量的增加呈逐渐降低的趋势,在充足灌水处理下,N1W1 分别比 N2W1 和 N3W1 高 6.71% 和 18.14%。在轻度亏水处理下,N1W2 和 N2W2 比 N3W2 高 4.32% 和 13.26%。在重度亏水处理下,N1W3 和 N2W3 比 N3W3 高 3.70% 和 16.86%。叶绿素 b 含量、叶绿素 a + b 含量变化趋势和叶绿素 a 相似。氮肥用量、水分及水氮互作对叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量的影响均达到极显著水平。

2.7 水肥互作对水曲柳叶片光合参数的影响

光合作用决定植物物质积累,光合参数反映光合作用的强弱。由表 3 可知,水肥调控对水曲柳光合特性有显著的影响,净光合速率在同一氮肥处理下,随亏水程度的增加呈逐渐下降的趋势。在高氮处理下,N1W1 和 N1W2 分别比 N1W3 高 23.79% 和 17.15%,差异显著;在中氮处理下,N2W1 和 N2W2 分别比 N2W3 高 26.18% 和 15.20%;在低氮处理

表 2 水肥互作下水曲柳光合色素含量			
处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素 a + b (mg/g)
N1W1	2.03 ± 0.14a	0.86 ± 0.02a	2.88 ± 0.16a
N1W2	1.84 ± 0.04bc	0.81 ± 0.03bc	2.64 ± 0.04b
N1W3	1.71 ± 0.05de	0.76 ± 0.04cd	2.47 ± 0.05cd
N2W1	1.90 ± 0.07a	0.77 ± 0.01cd	2.67 ± 0.08a
N2W2	1.76 ± 0.08cd	0.81 ± 0.03ab	2.57 ± 0.10bc
N2W3	1.65 ± 0.03de	0.75 ± 0.04d	2.40 ± 0.07d
N3W1	1.72 ± 0.03cde	0.64 ± 0.02e	2.36 ± 0.04de
N3W2	1.62 ± 0.03e	0.63 ± 0.01ef	2.25 ± 0.04e
N3W3	1.48 ± 0.07f	0.59 ± 0.01f	2.06 ± 0.05f
变异来源			
N	**	**	**
W	**	**	**
N × W	**	**	**

注:同列中不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。表 3 同。

下,N3W1 和 N3W2 分别比 N3W3 高 30.80% 和 10.41%。在同一水分处理下,净光合速率随氮肥用量的减少而降低。N1W1 处理的净光合速率最高。气孔导度在同一氮肥处理下呈逐渐降低的趋势,在同一水分处理下呈先升高后降低的变化趋势,N2W1 处理的气孔导度最大,显著高于其他各处理。气孔导度在同一氮肥处理下呈逐渐降低的变化趋势,在高氮处理下,N1W1 显著高于 N1W3 (高 6.82%)。在中氮处理下,N2W1 分别比 N2W2 和 N2W3 高 4.75% 和 9.08%,差异显著。在低氮处理下,N3W1 分别比 N3W2 和 N3W3 高 5.80% 和 12.91%,差异显著。在同一水分处理下呈先升高后降低的变化趋势。在充分灌水处理下,N2W1 分别比 N1W1 和 N3W1 高 18.13% 和 12.34%,差异显著。在轻度亏水处理下,N2W2 分别比 N1W2 和 N3W2 高出 17.11% 和 14.24%。在重度亏水处理下,N2W3 分别比 N1W3 和 N3W3 高 15.53% 和 12.91%。N2W1 处理的气孔导度最大,显著高于其他各处理。胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率的变化趋势和净光合速率相似。氮肥对净光合速率、气孔导度和蒸腾速率有显著的影响,水分对气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率有显著的影响,水氮互作对蒸腾速率影响显著,对其他光合参数影响不显著。

3 讨论

氮肥和水分是影响氮代谢水平的重要因素,在

表 3 水肥互作下水曲柳叶片光合参数

处理	净光合速率 $P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度 $G_s$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间二氧化碳浓 $C_i$ ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	蒸腾速率 $T_r$ [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
N1W1	18.27 ± 0.38a	2.27 ± 0.08de	410.33 ± 12.22a	2.36 ± 0.12a
N1W2	17.29 ± 1.37ab	2.16 ± 0.02ef	402.00 ± 15.39ab	2.24 ± 0.05abc
N1W3	14.76 ± 1.14c	2.12 ± 0.01f	384.00 ± 16.09bc	2.16 ± 0.04bcd
N2W1	16.28 ± 0.79b	2.68 ± 0.09a	401.67 ± 12.86ab	2.28 ± 0.15ab
N2W2	14.87 ± 0.97c	2.53 ± 0.03b	386.00 ± 4.58abc	2.19 ± 0.07abcd
N2W3	12.91 ± 0.54d	2.45 ± 0.08bc	384.33 ± 12.58bc	2.07 ± 0.08cd
N3W1	14.79 ± 0.23c	2.38 ± 0.09cd	395.67 ± 27.43abc	2.18 ± 0.11bcd
N3W2	12.48 ± 0.50de	2.22 ± 0.04ef	386.33 ± 8.62abc	2.09 ± 0.10cd
N3W3	11.31 ± 0.58e	2.17 ± 0.10ef	372.00 ± 4.00c	2.02 ± 0.14d
变异来源				
N	*	**	NS	**
W	NS	**	*	**
N × W	NS	NS	NS	**

植物的生命活动中有重要的作用<sup>[21]</sup>。有研究认为适量施用氮肥可提高植物 NR 和 GS 活性<sup>[22]</sup>。水分胁迫下植株生长受到抑制,根系氮代谢酶活性降低,正常的生理代谢受到影响<sup>[23]</sup>。于坤等研究表明,水分适宜时增加施氮可提高植株叶片氮含量并保持叶片 NR、GS 的高活性<sup>[24]</sup>。本研究表明,NR 活性随亏水程度的增加呈逐渐下降的趋势,随施氮量的减少呈先升高后降低的变化趋势。GS 活性在高氮和低氮处理下,随亏水程度的增加呈下降的趋势,在中氮处理下,随亏水程度的增加呈先升高后降低的变化趋势;在充分灌溉处理下,随氮肥用量的减少呈逐渐升高的趋势,施氮量和水分对 GS 的互作效应达极显著水平,说明植株 GS 变化受到施氮量和水分的共同影响。在轻度亏水和重度亏水处理下呈先升高后降低的变化趋势,说明灌水量影响氮代谢酶活性,适量氮肥可促进氮代谢关键酶活性的增加,而氮肥用量过多则会产生抑制作用。

渗透调节物质其调节作用有利于植物在逆境环境中维持细胞渗透调节,缓解细胞质的压力,增强细胞保水能力,从而满足正常生长所需水分和促进根部吸水<sup>[25]</sup>。本研究表明,可溶性糖和可溶性蛋白含量随施氮量的减少呈逐渐降低的趋势。轻度的亏水可提高水曲柳叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量,说明适度的水分亏缺可以促进渗透调节物质的合成,提高自身的耐旱性。而重度亏水可溶性糖和可溶性蛋白含量下降。可能是由于水分过低植株代谢紊乱,水解作用增强,使蛋白质含量下降。在

重度缺水下高氮处理的叶片可溶性糖含量最高,则说明增施氮肥是水分过低时提高水曲柳叶片可溶性糖含量的有效措施。

光合作用决定作物物质积累,水分和氮素都是光合作用的重要部分<sup>[26]</sup>,水分和氮素通过合理的分配和协调,能够协调气孔的运动、物质的转运和光合产物的分配<sup>[27]</sup>,使其更好地适应生存环境<sup>[28]</sup>,在某种意义上,水氮协调可促进光合作用,加快碳、氮代谢运转<sup>[24]</sup>。叶绿素是光合作用的基础,是实现光合作用功能的关键<sup>[29-31]</sup>。本研究表明,水氮运筹对水曲柳光合特性具有调控作用,叶绿素含量和净光合速率随灌水量和氮肥用量的减少呈逐渐降低的变化趋势,高氮充分灌溉处理的叶绿素含量最高,说明充足的氮肥和水分是保证叶绿素含量的重要保障。在轻度亏水下,高氮处理的叶绿素 a 和叶绿素 a + b 含量与充足灌水高氮处理时差异不显著,说明,在轻度亏水下保持氮肥的供应能够维持较高的叶绿素含量,但是当亏水程度继续增加,则差异较为显著。净光合速率随氮肥和亏水程度的增加呈降低的趋势,高氮处理下气孔导度低于中氮处理,说明氮素含量超出一定阈值影响光合作用,而净光合速率在高氮水平下较高,可能是由于较高含量的叶绿素提高了光反应中心的活性,保持较高的光合水平。在轻度亏水处理下,高氮处理胞间二氧化碳浓度、气孔导度和蒸腾速率均和充足灌水高氮处理没有显著差异。说明,在轻度亏水时,保证氮肥的供应,仍然能够保证水曲柳叶片正常的光合水平,

保证植株的正常生长,可能是由于充足的氮肥能够促进根系生长,改善根系分布,提高对土壤水分的吸收能力,从而缓解了干旱造成的胁迫。

## 4 结论

水分和氮素都是影响水曲柳正常生长的关键因素,显著影响水曲柳的氮代谢和光合特性,且水分和氮素间存在互作效应。水曲柳的氮代谢酶活性在轻度亏水高氮处理达到最大值,叶绿素含量和光合参数均在充足灌水高氮处理时达到最大值,说明氮代谢和光合作用对水分和氮素的适应性存在差异,在轻度亏水处理下,保证氮肥的供应,仍然能够保证水曲柳叶片正常的光合水平,保证植株的正常生长。

## 参考文献:

- [1]任城帅,李 慧,翁小航,等. 外源钙对水曲柳生长、光合特性及水分利用效率的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2020,51(6): 663-669.
- [2]卢 艳,闫 月,崔程程,等. 初生休眠解除状态和干燥处理对水曲柳种子萌发的影响[J]. 植物研究,2020,40(4):490-495.
- [3]李谦维,高俊琴,梁金凤,等. 生物炭添加对不同水氮条件下芦苇生长和氮素吸收的影响[J]. 生态学报,2021,41(10):3765-3774.
- [4]陈修斌,蒋梦婷,尹 鑫,等. 水氮配施对绿洲温室黄瓜氮素代谢及产量品质的影响[J]. 土壤与作物,2021,10(1):79-90.
- [5]常雯雯,刘吉利,吴 娜,等. 水氮耦合对盐碱地柳枝稷生物量产量、品质及水肥利用的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(1): 53-62.
- [6]韩梦雪,张 林. 施肥方式和施氮量对枸杞微孔陶瓷根灌土壤水氮分布的影响[J]. 节水灌溉,2021(1):60-64.
- [7]李欢欢,刘 浩,庞 婕,等. 水氮互作对盆栽番茄生长发育和养分累积的影响[J]. 农业机械学报,2019,50(9):272-279.
- [8]罗健航,王海廷,赵 营,等. 不同水氮措施对农田氮素流失和动态变化规律[J]. 新疆农业科学,2020,57(12):2205-2212.
- [9]于景麟,刘 峰,贺曰林,等. 沟灌水氮耦合对毛白杨林木生长及水氮吸收利用的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(7):2314-2322.
- [10]刘小刚,郝 琨,韩志慧,等. 水氮耦合对干热区小粒咖啡产量和品质的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(2):143-150,160.
- [11]马 戊,王进鑫,张玉玉,等. 水肥条件对煤矸石土壤上两种牧草光合及生物量的影响[J]. 水土保持研究,2021,28(1): 179-187.
- [12]闫承宏,吴 娜,刘吉利,等. 水氮耦合对盐碱地柳枝稷光合生理及生物量产量的影响[J]. 西北农业学报,2021,30(4): 582-590.

- [13]崔婉莹. 红松、水曲柳的碳储存与分配对水分胁迫及氮添加的响应[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [14]张海龙. 大青沟三种乔木苗根系分布与土壤水肥关系的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [15]于水强,王政权,史建伟,等. 氮肥对水曲柳和落叶松细根寿命的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2332-2338.
- [16]熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003.
- [17]Wang L,Zhou Q X,Ding L L,et al. Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of *Solanum nigrum* L. as a newly found cadmium hyperaccumulator [J]. Journal of Hazardous Materials,2008,154(1/2/3):818-825.
- [18]Tang Y F,Sun X C,Hu C X,et al. Genotypic differences in nitrate uptake, translocation and assimilation of two Chinese cabbage cultivars[ *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) [J]. Plant Physiology and Biochemistry,2013,70:14-20.
- [19]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [20]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]张玉霞,王 鑫,张庆听,等. 追施氮肥对沙地生境下不同饲用燕麦品种叶片氮代谢酶活性的影响[J]. 华北农学报,2021,36(3):159-165.
- [22]戴 明,郭海滨. 水氮耦合对温室黄瓜果实生理特性及产量的影响[J]. 北方园艺,2020(17):8-15.
- [23]李佳树,杨再强,王明田,等. 水氮耦合对苗期葡萄叶片氮素代谢酶活性的影响[J]. 中国农业气象,2019,40(6):368-379.
- [24]于 坤,郁松林,许雯博,等. 干旱区膜下滴灌不同灌水和施氮水平对‘赤霞珠’葡萄幼苗氮素代谢和根系发育的影响[J]. 果树学报,2013,30(6):975-982.
- [25]桂 丕,陈 娟,廖宗文,等. 不同氮水平下有机碳对薤菜碳氮代谢及生长的影响[J]. 土壤学报,2016,53(3):746-756.
- [26]高翠民,杨永辉,何 方,等. 不同灌溉技术下水氮耦合对小麦光合特性、灌水利用特性及产量的影响[J]. 华北农学报,2020,35(5):72-80.
- [27]王金金,刘小利,刘 佩,等. 秸秆还田条件下减施氮肥对旱地冬小麦水氮利用、光合及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(2):210-219.
- [28]魏廷邦,张兆萍,魏玉杰,等. 水氮耦合对绿洲灌区蒙古黄芪光合特性的影响[J]. 中药材,2019,42(9):1973-1977.
- [29]魏廷邦,柴 强,王伟民,等. 水氮耦合及种植密度对绿洲灌区玉米光合作用和干物质积累特征的调控效应[J]. 中国农业科学,2019,52(3):428-444.
- [30]周东雪,娄运生,杨惠琳,等. 夜间增温下品种混栽对水稻叶片光合特性和荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(1): 64-72.
- [31]刘 明,张忠学,郑恩楠,等. 不同水氮管理模式下玉米光合特征和水氮利用效率试验研究[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):27-34.