

不同氮素水平对灵武长枣光合特性及产量的影响

李 慧¹, 李白云^{1*}, 刘 超²

(1. 宁夏农林科学院园艺研究所, 银川 750002; 2. 宁夏罗山国家级自然保护区管理局, 宁夏 吴忠 751900)

摘要:为探明灵武长枣的最佳施氮量, 研究不同施氮量(0、50、200、350、500、650、800 g/株)对灵武长枣光合特性和产量的影响。结果表明, 随着施氮量的增加, 灵武长枣叶绿素含量、蒸腾速率、气孔导度、净光合速率、单果质量、单株坐果量、产量呈现先增加后下降的趋势, 均在350 g/株时达到最大值; 与对照相比, 叶绿素含量、蒸腾速率、气孔导度、净光合速率分别提高8.3%、21.6%、77.5%、20.6%, 胞间CO₂浓度降低7.6%; 单果质量、单株坐果量、产量分别增加8.2%、31.5%、42.7%。根据施氮量与产量的回归方程, 生产上推荐施氮量为355.89 g/株。本研究可为中等肥力灵武长枣种植区的氮肥施用提供理论依据。

关键词:灵武长枣; 氮素; 光合特性; 产量

中图分类号: S665.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)05-0092-05

Effects of Different Nitrogen Levels on Photosynthetic Characteristics and Yield of *Zizyphus jujube* Mill. Lingwuchangzao

LI Hui¹, LI Baiyun^{1*}, LIU Chao²

(1. Horticultures Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002; 2. Ningxia Luoshan National Nature Reserve Administration, Wuzhong 751900, China)

Abstract: In order to find out the best nitrogen application, the effects of different nitrogen applications (0, 50, 200, 350, 500, 650, 800 g/plant) on the photosynthetic characteristics and yield of *Zizyphus jujube* Mill. Lingwuchangzao were studied. The chlorophyll content, transpiration rate, stomatal conductance, photosynthetic rate, single fruit weight, single plant fruit setting and yield of Lingwuchangzao increased and then decreased with the increase of nitrogen application, and reached the maximum value at 350 g/plant. Compared with the control, the chlorophyll content, transpiration rate, stomatal conductance and photosynthetic rate increased by 8.3%, 21.6%, 77.5%, 20.6%, respectively, the intercellular CO₂ concentration decreased by 7.6%, and single fruit weight, single plant fruit setting, yield increased by 8.2%, 31.5%, 42.7%, respectively. According to the regression equation between nitrogen application and yield, the recommended nitrogen application is 355.89 g/plant. This study provides a theoretical basis for the application of nitrogen fertilizer in Lingwuchangzao planting area with medium fertility.

Key words: Lingwuchangzao; Nitrogen Levels; Photosynthetic Characteristics; Yield

灵武长枣是宁夏灵武市特有的优良枣树品种, 栽培历史悠久, 鲜食果质地酥脆, 汁液多, 可食率高, 商品性状优良, 营养价值高^[1]。红枣产业已经

成为宁夏六大特色农业产业之一, 国务院《关于促进宁夏经济社会发展若干意见》中, 将红枣产业确定为宁夏重点发展的现代农业产业之一^[2]。经过十几年的快速发展, 灵武长枣种植面积基本趋于稳定, 处于从追求高产量和数量转向高品质、高质量的关键阶段, 但生产中枣农往往通过大量施入氮肥来维持高产, 造成肥料利用率降低、果园土壤养分失衡、果实品质降低, 对当地生态环境有一定的负面影响。因此, 合理氮素水平是获得高效益的关键因素。

氮是植物必需的矿质元素之一, 是作物体内叶绿素、蛋白质及核酸的重要构成成分, 可以通

收稿日期: 2020-09-07

基金项目: 宁夏农林科学院自主创新专项科技创新引导项目(NKYJ-18-12); 宁夏回族自治区财政林业新技术引进及推广项目([2019]NX12); 宁夏回族自治区自然科学基金项目(2020AAC03324)

作者简介: 李 慧(1990-), 女, 助理研究员, 硕士, 从事枣树育种及田间栽培技术研究。

通讯作者: 李白云, 男, 硕士, 副研究员, E-mail: 124495776@qq.com

过施用氮肥的方式影响氮素吸收、同化及运转,达到直接或间接影响光合作用的目的,为作物干物质积累及产量形成提供元素保证^[3-5]。研究表明,合理氮肥用量可促进作物生长,提高光合特性,增加产量及品质^[6]。关于作物光合特性及产量对施氮的响应一直是相关学者的研究热点,已经在番茄^[6]、小麦^[7]、玉米^[8]、甘薯^[9]、咖啡^[4]等栽培作物中开展广泛研究。在果树的相关研究主要集中在板栗^[10]、李广杏^[11]、葡萄^[12]、菠萝蜜^[13]等果树。目前,关于灵武长枣施肥方面研究较多,大多侧重于氮磷钾配比试验研究^[2,14-15],不同氮素水平对灵武长枣光合特性影响的研究较少,只开展氮肥品种和施氮量对滴灌条件下灰枣的光合特性和产量的研究^[16]。为此,针对当前生产中不合理使用氮肥展开试验研究,探索氮素水平对灵武长枣光合特性及产量的影响,以期对灵武长枣的氮肥施用量做出客观评价,为促进产业的高质量发展提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验地位于宁夏灵武市东塔镇果园村,地处宁夏中部,海拔1 250 m,典型大陆性季风气候,全年日照时数3 080 h,平均无霜期157 d,植物生长持续170 d,年均气温9℃,年均降雨量220 mm,土壤类型为灌淤土^[2],土层0~60 cm养分情况:pH 8.47,全盐0.97 g/kg,有机质11.44 g/kg,碱解氮68.00 mg/kg,速效磷30.89 mg/kg,速效钾193 mg/kg。

供试材料为灵武长枣,砧木为酸枣,2003年定植于大田,株行距为4 m×3 m,灌水方式为大水漫灌。选择长势一致、无病虫害的植株进行试验(表1)。

表1 供试灵武长枣树体情况

| 处理 | 干高(m) | 干径(mm) | 冠幅(cm) | 主枝数(个) |
|----------------|-------|--------|---------|--------|
| N ₀ | 2.20 | 135.62 | 283×289 | 11 |
| N ₁ | 2.28 | 112.80 | 284×277 | 11 |
| N ₂ | 2.30 | 124.52 | 302×318 | 11 |
| N ₃ | 2.33 | 138.09 | 245×328 | 12 |
| N ₄ | 2.38 | 120.80 | 295×326 | 12 |
| N ₅ | 2.45 | 123.43 | 244×278 | 11 |
| N ₆ | 2.33 | 118.98 | 272×298 | 10 |

注:表中干高、干径、冠幅、主枝数为各处理树体的平均值

1.2 试验设计

试验于2018年4~10月进行,采用单因素试验,以仅施磷、钾肥为对照(N₀),氮、磷、钾肥分别选用尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 44%)、硫酸

表2 不同处理下N、P₂O₅、K₂O施用量 g/株

| 处理 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|----------------|-----|-------------------------------|------------------|
| N ₀ | 0 | 270 | 320 |
| N ₁ | 50 | 270 | 320 |
| N ₂ | 200 | 270 | 320 |
| N ₃ | 350 | 270 | 320 |
| N ₄ | 500 | 270 | 320 |
| N ₅ | 650 | 270 | 320 |
| N ₆ | 800 | 270 | 320 |

钾(K₂O 52%),按纯氮量设置6个处理,不同处理下N、P₂O₅、K₂O施用量详见表2。单株重复,重复3次,根据灵武长枣需肥规律,分别在萌芽期、开花期、坐果期3个时期施入,氮肥比例为3:2:1,磷肥比例为1:3:2,钾肥比例为1:2:3,进行沟施,施肥后灌水。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 光合特性及叶面积的测定

于晴天9:00~11:00,在叶片停止生长后(7~9月),选取枣树东部3~5年生主枝中部枣吊3~4节叶片,采用TPS-2光合仪测定光合特性,每个处理测定6片叶,重复测定3次。采用CI-203叶面积测量仪测定叶面积,采用SPAD 502测定仪测定叶绿素含量,每个处理不少于30片叶。

1.3.2 单株产量测定

9月下旬田间逐一统计单株坐果量。于树体4个方向,各处理采集成熟期果实30个,采用百分之一天平测定单果质量。根据单株产量=单果质量×单株坐果量,计算单株产量以及667 m²产量。

1.4 数据分析

运用Excel 2007和SPSS 20.0软件对试验数据进行统计分析,利用Duncan's方法进行显著性检验,图表中数值均为平均值±标准误,小写字母不同表示在0.05水平上差异显著,采用Pearson方法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平对灵武长枣叶面积和叶绿素含量的影响

由图1、图2可知,不同氮肥量处理下,灵武长枣叶面积和叶绿素含量与对照存在显著性差异($P<0.05$),与对照(N₀)相比,N₁~N₆处理叶面积和叶绿素含量均有不同程度提高,叶面积分别提高9.2%、27.1%、9.9%、6.8%、8.5%、13.5%,叶绿素含量分别提高5.1%、3.9%、8.3%、6.8%、3.9%、3.6%。

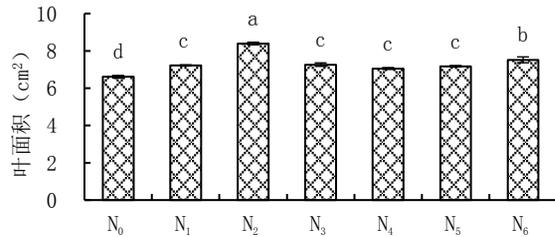


图1 不同氮素水平对灵武长枣叶面积的影响

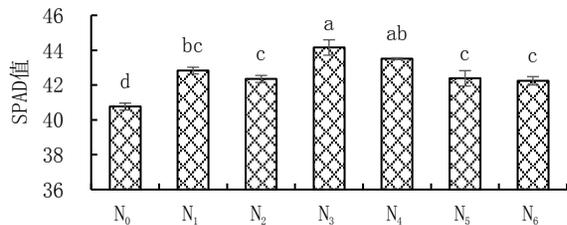
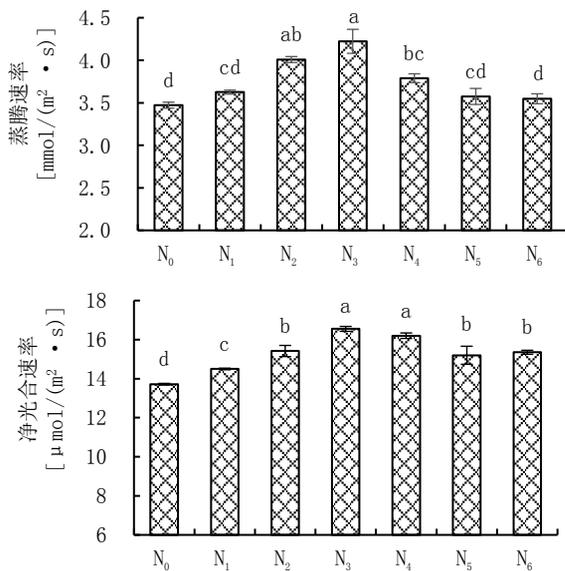


图2 不同氮素水平对灵武长枣叶绿素含量的影响

灵武长枣叶面积和叶绿素含量随施氮量的增加呈先增加后下降的趋势,200 g/株(N₂)处理叶面积最大,350 g/株(N₃)处理叶绿素含量最高。



2.2 不同氮素水平对灵武长枣光合特性的影响

由图3可知,在不同氮肥量处理下,灵武长枣叶片蒸腾速率、气孔导度、净光合速率、胞间CO₂浓度存在显著性差异($P<0.05$)。与对照(N₀)相比,N₁~N₆处理蒸腾速率、气孔导度、净光合速率均有不同程度提高,蒸腾速率分别提高4.6%、15.6%、21.6%、9.2%、2.9%、2.3%,气孔导度分别提高52.5%、47.5%、77.5%、62.5%、35.0%、32.5%,净光合速率分别提高5.7%、12.4%、20.6%、18.1%、10.8%、11.9%。蒸腾速率、气孔导度、净光合速率随施氮量的增加呈先增加后下降的趋势,在350 g/株(N₃)处理水平时达最大值。与对照(N₀)相比,N₂~N₆处理胞间CO₂浓度分别降低5.2%、7.6%、6.0%、9.4%、4.4%,与N₀存在显著性差异;N₁处理下胞间CO₂浓度增加1.6%,与N₀无显著性差异;总体上看,胞间CO₂浓度随施氮量的增加呈先下降后增加的趋势,在350、650 g/株(N₃、N₅)处理时,胞间CO₂浓度相对较低。

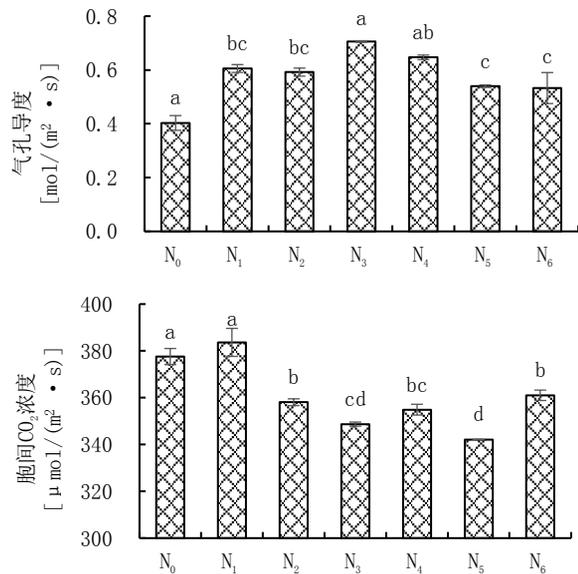


图3 不同氮素水平对灵武长枣光合特性的影响

2.3 不同氮素水平对灵武长枣产量主要参数及经济效益的影响

由表3可知,在不同氮肥量处理下,灵武长枣单果质量、单株坐果量、产量存在显著性差异($P<0.05$)。与对照(N₀)相比,N₃、N₄处理单果质量分别增加8.2%、6.4%,与N₀存在显著性差异;N₁~N₆处理下单株坐果量分别提高13.6%、17.9%、31.5%、17.0%、0.6%、4.4%,N₁~N₄与N₀存在显著性差异;N₁~N₆处理产量分别提高15.1%、21.65%、42.7%、24.4%、1.7%、2.5%,N₁~N₄与N₀存在显著性差异;单果质量、单株坐果量、产量随施氮量增加

呈先增加后下降的趋势,350 g/株(N₃)处理达到最大值。随着氮肥施用量的增加,肥料成本持续增加,经济效益呈先增加后下降的趋势,与对照(N₀)相比,N₁~N₄处理经济效益分别提高15.7%、21.4%、42.6%、21.7%,N₅、N₆处理经济效益略微下降。因此,通过对产量(Y)和施氮量(X)拟合方程(图4), $y=-0.0014x^2+0.9965x+746.3$, $R^2=0.6568$,表明产量与施氮量相关性显著,施入355.89 g/株时,产量达到最大值,为923.62 kg/667 m²。

2.4 灵武长枣光合特性与产量主要参数的相关性

相关性分析结果表明(表4),SPAD值与产

表3 不同氮素水平对灵武长枣产量主要参数及经济效益的影响

| 处理 | 单果质量(g) | 单株坐果量(个) | 产量(kg/667 m ²) | 肥料成本(元/667 m ²) | 经济效益(元/667 m ²) |
|----------------|--------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| N ₀ | 13.63±0.2bc | 952±19.5c | 713.14±5.47d | 189 | 2 663 |
| N ₁ | 13.80±0.02b | 1 081±16.2b | 820.61±11.11c | 201 | 3 081 |
| N ₂ | 14.06±0.05b | 1 122±30.0b | 867.55±26.27bc | 237 | 3 233 |
| N ₃ | 14.75±0.07a | 1 252±19.3a | 1 017.64±11.44a | 273 | 3 798 |
| N ₄ | 14.50±0.24a | 1 114±47.4b | 887.21±23.64b | 309 | 3 240 |
| N ₅ | 13.77±0.13bc | 958±14.7c | 725.04±4.63d | 345 | 2 555 |
| N ₆ | 13.37±0.05c | 994±22.4c | 731.00±19.05d | 381 | 2 543 |

注:每667 m²栽55株,表中肥料价格:尿素2元/kg,重过磷酸钙2.4元/kg,硫酸钾3.2元/kg,灵武长枣价格4元/kg。经济效益=产量×价格-肥料成本

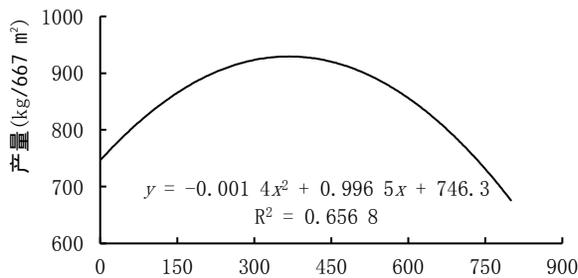


图4 不同施氮量对灵武长枣产量的影响

表4 灵武长枣光合特性与产量主要参数的相关性分析

| 因子 | 净光合速率 | SPAD | 叶面积 |
|-------|--------|--------|-------|
| 产量 | 0.761* | 0.845* | 0.262 |
| 单果质量 | 0.754 | 0.798* | 0.055 |
| 单株坐果量 | 0.735 | 0.834* | 0.337 |

注:“*”表示在0.05水平上显著相关

量、单果质量、单株坐果量皆呈显著性正相关关系;净光合速率与产量呈显著正相关关系,与单果质量、单株坐果量呈正相关关系;叶面积与产量主要参数呈正相关关系。

3 结论与讨论

光合作用是植物最为重要的代谢活动,是作物将光能转化为化学能的过程^[17]。氮与植物的光合作用密切相关,作为叶绿素与植物激素的重要组成成分,对作物体内的叶绿素、可溶性蛋白及光合酶类的合成和活性有直接影响^[18-19]。施氮量的增加能促进植物叶片叶绿素的合成,增强植物叶片对光能的捕获能力,提高光能转化率,从而促进光合作用,提高光合速率^[20-21]。但施氮量过多或过少均会减弱植株光合特性及叶绿素含量^[6]。研究施氮量对咖啡光合特征的影响发现施氮显著提高咖啡叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等光合指标^[4]。相关研究表明,随着施氮

量的增加,菠萝蜜的叶面积、叶绿素含量呈先升高后降低的趋势,小麦、菠萝蜜、牡丹、李广杏、辣椒的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率随施氮量增加呈先升高后降低的趋势,胞间CO₂浓度呈先降低后升高的趋势^[7,11,13,18,22]。本研究结果表明,在一定氮素水平范围内(50~350 g/株),随着施氮量的增加,灵武长枣叶片叶绿素含量、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率逐渐增加,超过350 g/株相关指标开始下降,胞间CO₂浓度变化规律相反,与上述研究结果一致。叶面积变化规律与叶绿素含量不一致,叶面积在施氮量为200 g/株处理时,达到最大值;施氮量在300 kg/hm²时,葡萄叶面积最大,显著高于其他处理,叶绿素含量在600 kg/hm²处理时,达到最大值^[12];研究不同施氮量在黑果枸杞上发现,叶面积涨幅最大在50 g/株处理,Chl a、Chl b、Chl a+b含量的最大值均在150 g/株处理^[23];由此可知,叶面积与叶绿素含量最佳值在施氮量的响应上存在差异。综上,合理施氮量可以改善植物的光合特性,但施氮过量会引起叶片气孔关闭变缓,降低叶片中保护性酶的活性,造成短期内叶片光合产物积累过多,使植株体内光合器官结构和功能受到活性氧的破坏,促使叶片维持较低的气孔导度与蒸腾速率、较高的胞间CO₂浓度,从而使植株光合作用受阻^[24-25]。

氮素水平对作物产量影响显著,土壤中合适的氮素含量是作物产量的保障,但施氮量过多则受“报酬递减”规律的影响不仅不能增产,反而会给环境带来一定压力^[26-27],施氮量过少会因土壤中氮素含量不足引起减产。当施氮量为150 g/株时,黑果枸杞和宁夏枸杞的百粒重和单株产量最大,超过该施氮量时,百粒重和单株产量呈下降趋势^[23]。随施氮量的增加,油用牡丹籽粒产量逐渐上升,在450 kg/hm²时产量达到最大,之后下降^[18]。在滴灌条件下,核桃产量在中肥处理达到

最大值^[28]。本研究中,灵武长枣单果质量、产量随着氮肥增加先增加后减少,与上述研究结果一致;产量与叶绿素含量以及净光合速率存在显著的正相关关系,干物质积累受光合产物积累的影响显著,与净光合速率关系密切^[29],因此氮肥对产量的促进主要是因为光合产物积累增加。

灵武长枣产量直接决定果园经济效益,合理的氮肥施入量是果园产量的关键性因素。本研究发现当每株施350 g纯氮时,灵武长枣光合指标及产量最佳。根据产量与施氮量的回归方程,建议栽培管理上施入氮肥355.89 g/株,从而提高氮肥利用率,保护黄河流域的生态环境。

参考文献:

- [1] 刘洁,万仲武,曹兵,等.不同滴灌水肥处理对灵武长枣果实品质的影响[J].节水灌溉,2014(8):25-28.
- [2] 朱钰.灵武长枣合理施肥及水肥一体化应用效果研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [3] 赵海波,林琪,刘义国,等.氮磷肥配施对超高产冬小麦灌浆期光合日变化及产量的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2545-2550.
- [4] 孙燕,董云萍,龙宇宙,等.施氮量对咖啡生长及光合特征的影响[J].热带作物学报,2019,40(2):215-220.
- [5] 周志强,彭英丽,孙铭隆,等.不同氮素水平对濒危植物黄檗幼苗光合荧光特性的影响[J].北京林业大学学报,2015,37(12):17-23.
- [6] 刘迁杰,贾凯,陈健,等.不同施氮量对复合沙培番茄叶绿素含量及光合特性日变化的影响[J].北方园艺,2020(5):8-14.
- [7] 马瑞琦,陶志强,王德梅,等.追氮量对不同试点小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].核农学报,2020,34(6):1281-1293.
- [8] 康彩睿,谢军红,李玲玲,等.种植密度与施氮量对陇中旱农区玉米产量及光合特性的影响[J].草业学报,2020,29(5):141-149.
- [9] 权宝全,吕瑞洲,王贵江.不同施氮量对甘薯生长发育及产量的影响[J].东北农业科学,2019,44(6):14-17.
- [10] 孙慧娟,郭素娟,宋影,等.修剪与施氮对板栗果树光合特性及产量的影响[J].东北林业大学学报,2017,45(9):40-44.
- [11] 陈翠莲,张继强,赵通,等.追施氮肥对‘李广杏’树体营养及光合特性的影响[J].经济林研究,2019,37(2):13-22.
- [12] 宁改星,马宗桓,毛娟,等.施氮量对荒漠区‘蛇龙珠’葡萄叶片质量的影响[J].果树学报,2019,36(9):1150-1160.
- [13] 苏兰茜,白亭玉,鱼欢,等.氮素营养对菠萝蜜幼苗生长及光合荧光特性的影响[J].中国南方果树,2019,48(3):67-72.
- [14] 孙亚萍.灵武长枣氮磷钾配比施肥试验[D].银川:宁夏大学,2018.
- [15] 韩昌焯.灵武长枣果实品质形成表现及主要设施栽培因子对品质的影响[D].银川:宁夏大学,2019.
- [16] 张计峰,耿庆龙,曹文超,等.氮肥品种与施氮量对滴灌红枣光合特性和产量的影响[J].农业工程学报,2020,36(7):92-98.
- [17] 费聪.氮素运筹对露播滴灌甜菜产量和品质的影响[D].石河子:石河子大学,2016.
- [18] 段祥光,张利霞,刘伟,等.施氮量对油用牡丹‘凤丹’光合特性及产量的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):48-54.
- [19] 隽英华,孙文涛,韩晓日,等.春玉米功能叶片生理特征及产量对施氮的响应[J].核农学报,2015,29(2):391-396.
- [20] Li Y, Gao Y, Xu X, et al. Light saturated photosynthetic rate in high-nitrogen rice (*Oryza sativa* L.) leaves is related to chloroplast CO₂ concentration[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(8): 2351-2360.
- [21] 张元帅,冯伟,张海艳,等.遮阴和施氮对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(9):1177-1184.
- [22] 郭鑫年,纪立东,尹志荣,等.宁夏引黄灌区氮肥减量对温室辣椒光合特性、产量及品质的影响[J].北方园艺,2020(7):1-9.
- [23] 马兴东.不同施氮量对黑果枸杞光合特性、品质与产量的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2020.
- [24] 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,2013,22(4):69-75.
- [25] 马兴东,郭晔红,杜弢,等.干旱区栽培黑果枸杞光合特性和产量对施氮的响应[J].西北农业学报,2020,29(11):1686-1694.
- [26] 周栋,于琦,李敖,等.施氮量对渭北旱地冬小麦产量和籽粒品质的影响[J].麦类作物学报,2020,40(7):1-8.
- [27] 杨春刚,王金明,邱志刚,等.氮肥用量和栽插密度对吉粳513产量及品质的影响[J].东北农业科学,2017,42(2):6-9.
- [28] 付秋萍,王忠任,赵经华,等.环塔盆地不同施氮量对滴灌核桃生长及产量的影响[J].水利水电技术,2019,50(11):181-188.
- [29] Wang X L, Zhang Z Y, XU X M, et al. The density of barnyard grass affects photosynthesis and physiological characteristics of rice[J]. Photosynthetica, 2019, 57(2): 705-711.

(责任编辑:王昱)