

基肥配施土壤改良物对西藏盐碱地黑青稞 光合特性的影响

张浩天 漆文静 赵奥尼 陈功喜 许明龙 王建林

(西藏农牧大学 植物科学学院, 西藏林芝 860000)

摘要 探究基肥配施土壤改良物对盐碱环境下黑青稞光合性能的影响, 是为了西藏黑青稞高产栽培提供理论依据, 本研究对基肥配施不同土壤改良物(生物质炭、腐植酸、柠檬酸)处理下, 黑青稞花后旗叶叶绿素含量和光合特性进行了研究。结果表明: 与常规施肥(CK)相比, 基肥配施不同土壤改良物处理下, 能够不同程度地提高黑青稞花后旗叶的叶绿素含量、净光合速率、胞间CO₂浓度、气孔导度和蒸腾速率, 延长有效光合作用期, 延缓叶片衰老。其中, 以基肥配施生物质炭处理效果最佳, 为盐碱地种植黑青稞提高光合特性具有理论指导作用。

关键词 西藏; 黑青稞; 土壤改良物; 光合特性

中图分类号: S512.3

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2025) 06-0724-06

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2025.06.005

Effects of Base Fertilizer Combined with Soil Amendments on Photosynthetic Characteristics of Black Qingke in Saline-Alkali Land of Xizang

ZHANG Haotian, QI Wwenjing, ZHAO Aoni, CHEN Gongxi, XU Minglong, WANG Jianlin

(College of Plant Sciences, Xizang Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi, Xizang 860000)

Abstract: In order to explore the effect of base fertilizer combined with soil amendment on photosynthetic performance of black Qingke under saline-alkali environment, and provide theoretical basis for high-yield cultivation of black Qingke in Xizang. In this study, the chlorophyll content and photosynthetic characteristics of flag leaves after anthesis of black Qingke were studied under the treatment of base fertilizer combined with different soil amendments (biochar, humic acid, citric acid). The results showed that compared with conventional fertilization (CK), the chlorophyll content, net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, stomatal conductance and transpiration rate of flag leaves after anthesis of black Qingke could be improved to varying degrees under the treatment of base fertilizer combined with different soil amendments, and the effective photosynthesis period was prolonged and the leaf senescence was delayed. Among them, the treatment effect of base fertilizer combined with biochar was the best, which provided theoretical guidance for planting

收稿日期: 2024-11-01

作者简介: 张浩天 (1999-), 男, 汉族, 河北唐山人, 硕士生。研究方向: 主要从事高原作物生理与生态方面的研究。

通信作者: 王建林 (1969-), 男, 汉族, 甘肃临洮人, 本科。研究方向: 主要从事生物多样性与植物生态方面的研究。

基金项目: 西藏特色农牧资源研发省部共建协同创新中心“作物方向研究”(XZTSZY202001); 西藏自治区中央引导地方科技项目“土壤盐渍化对化肥氮素转化过程影响及其调控机制研究”(XZ202202YD0025C); 西藏自治区重大科技专项“青稞新品种(系)培育”(XZ202101ZD0004N-03); 西藏农牧学院研究生教育创新计划项目(YJS2023-29)。

black Qingke in saline-alkali land to improve photosynthetic characteristics.

Key words: Xizang; Black Qingke; Soil amendments; Photosynthetic characteristics

青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum* Hook f.)属禾本科大麦属,因其内外稃与颖果分离籽粒裸露,故又称裸大麦,是栽培大麦的一个变种^[1]。它是西藏第一大粮食作物,其籽粒具有高蛋白质、高可溶性纤维、高维生素和低脂肪、低糖的营养特征,是藏族人民的主要食粮作物之一,被广泛加工成各种健康食品^[2-4]。黑青稞是青稞的一种,因其种皮富含花青素而得名。其营养价值和功能价值远高于普通青稞^[5,6],广受人民群众的关注和喜爱^[7]。黑青稞对增加当地农牧民经济收入、实施乡村振兴战略等具有重要的意义。

目前,关于基肥配施不同改良物的研究主要集中在小麦^[8]、玉米^[9,10]等作物上,均表现出可以显著提升植株叶片光合能力、生理及产量的作用。但是,关于基肥配施不同土壤改良物质对盐碱地环境下青稞光合特性的研究尚未见报道。为此,本研究试图揭示基肥配施生物质炭、腐植酸、柠檬酸等不同土壤改良物对盐碱环境下西藏黑青稞花后旗叶光合特性的影响,以期为西藏黑青稞高产栽培及盐碱地土壤改良提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验材料为隆子六棱黑青稞农家品种,由西藏自治区山南市隆子县农业农村局提供。普通尿素(含N量46%)、缓释尿素(含N量46%)、硫酸钾(含K₂O量50%)、过磷酸钙(含P₂O₅量18%)系云天化集团有限公司生产,柠檬酸、腐植酸和生物质炭由潍坊英轩实业有限公司制造。

1.2 试验地点概况

试验于2023年3月至9月在西藏自治区山南市隆子县热荣乡沃塘村(28°51'N, 92°10'E)进行。试验区海拔4 013 m,属于高原温带大陆性季风气候,年日照时数2 983 h,年降水量279.41 mm。试验地土壤pH值8.5,属碱性土壤。

1.3 试验设计

本试验设4种处理:CK(基肥)、F1(基肥+生物质炭)、F2(基肥+腐植酸)、F3(基肥+柠檬酸)(见表1)。每个处理重复3次,随机区组排列。小区面积21 m²。播种密度为262.9 kg·hm⁻²,试验地4周设立保护行。田间管理略高于当地常规大田水平。

表1 各小区基肥配施

Tab.1 Fertilizer application in each plot

处理	N /(kg hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg hm ⁻²)	K ₂ O /(kg hm ⁻²)	生物质炭 /(kg hm ⁻²)	腐植酸 /(kg hm ⁻²)	柠檬酸 /(kg hm ⁻²)
CK	135	135	135	-	-	-
F1	135	135	135	24 000	-	-
F2	135	135	135	-	45	-
F3	135	135	135	-	-	45

1.4 测定项目与方法

在黑青稞花后7、14、21、28和35 d,每个小区随机选择10株生长趋势一致的植株旗叶测定以下指

标。其中：叶绿素含量用 SPAD-502 叶绿素仪（日本 Konica 公司）进行测定，重复 5 次，计算平均值。净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度和蒸腾速率：采用 Li-6400（美国，LI-COR）便携式光合仪在上午 10:00 ~ 12:00 进行测定。

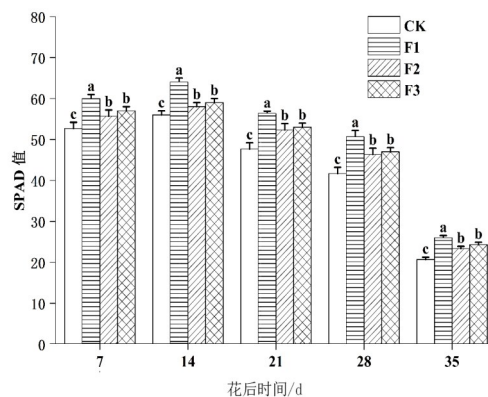
1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2016 和 DPS 9.5 软件进行数据分析统计，并用 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对黑青稞叶绿素含量的影响

由图 1 所见，在花后不同时期，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量均显著高于对照 CK 处理 ($P < 0.05$)。其中：7 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量分别较 CK 高 13.92%、5.70% 和 8.23%；14 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量分别较 CK 高 14.29%、3.57% 和 5.35%；21 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量分别较 CK 高 18.18%、9.79% 和 11.19%；28 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量分别较 CK 高 21.60%、11.20% 和 12.80%；35 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶叶绿素含量分别较 CK 高 25.81%、12.90% 和 17.74%。表明，基肥配施不同土壤改良物均能够不同程度地提高旗叶叶绿素含量，延缓生育后期叶绿素含量的下降速度。其中以基肥配施生物质炭处理效果最佳。



注：图中小写字母为同一时间不同处理间差异显著性 ($P < 0.05$)，下同。

图 1 不同处理对黑青稞旗叶叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of different treatments on chlorophyll content in flag leaves of black Qingke

2.2 不同处理对黑青稞净光合速率的影响

如图 2 所见，在花后不同时期，F1、F2 和 F3 处理下旗叶净光合速率均显著高于对照 CK 处理 ($P < 0.05$)。其中：在 7 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶净光合速率分别较 CK 高 15.79%、5.91% 和 8.61%；14 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶净光合速率分别较 CK 高 22.82%、11.73% 和 14.24%；21 d 时 F1、F2 和 F3 处理的旗叶净光合速率分别较 CK 高 25.46%、13.40% 和 16.67%；28 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶净光合速率分别较 CK 高 31.02%、15.75% 和 18.28%；35 d 时，F1、F2 和 F3 处理的旗叶净光合速率分别较 CK 高 56.20%、16.79% 和 25.55%。表明，基肥配施不同土壤改良物均能够不同程度地减缓黑青稞花后旗叶净光合速率的下降。其中，基肥配施生物质炭处理效果最佳。

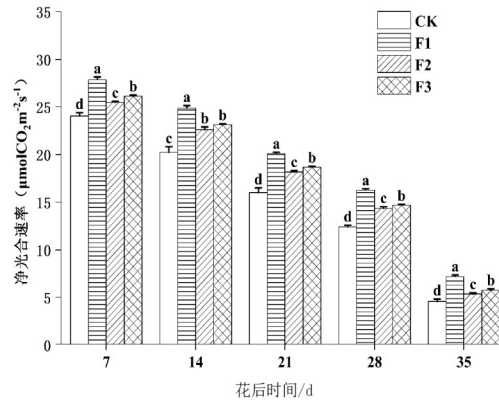


图2 不同处理对黑青稞旗叶净光合速率的影响

Fig.2 Effects of different treatments on net photosynthetic rate of flag leaves of black Qingke

2.3 不同处理对黑青稞气孔导度的影响

如图3所见，在花后不同时期，F1、F2和F3处理下旗叶气孔导度均显著高于对照CK处理($P < 0.05$)。其中：7 d时，F1、F2和F3处理的旗叶气孔导度分别较CK高86.72%、45.57%和57.34%；14 d时，F1、F2和F3处理的旗叶气孔导度分别较CK高64.03%、26.01%和39.00%；21 d时，F1、F2和F3处理的旗叶气孔导度分别较CK高66.13%、32.30%和47.67%；28 d时，F1、F2和F3处理的旗叶气孔导度分别较CK高83.36%、38.07%和50.00%；35 d时，F1、F2和F3处理的旗叶气孔导度分别较CK高176.15%、65.90%和79.49%。结果表明，基肥配施不同土壤改良物均有效提高黑青稞旗叶气孔导度，尤其以基肥配施生物炭处理效果最佳，在花后各期综合表现显著强于其他处理，且气孔导度在花后14 d后较CK下降缓慢。

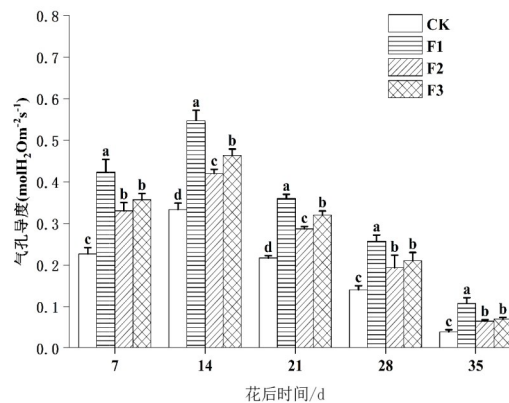


图3 不同处理对黑青稞旗叶气孔导度的影响

Fig.3 Effects of different treatments on stomatal conductance of flag leaves of black Qingke

2.4 不同处理对黑青稞胞间CO₂浓度的影响

如图4所见，在花后不同时期，F1、F2和F3处理旗叶的胞间CO₂浓度均显著高于对照CK处理($P < 0.05$)。其中：7 d时，F1、F2和F3处理旗叶的胞间CO₂浓度分别较CK高32.40%、22.56%和24.36%；14 d时，F1、F2和F3处理旗叶的胞间CO₂浓度分别较CK高12.54%、8.55%和4.70%；21 d时，F1、F2和F3

处理旗叶的胞间 CO_2 浓度分别较CK高11.78%、6.29%和8.17%；28 d时，F1、F2和F3处理旗叶的胞间 CO_2 浓度分别较CK高13.89%、6.14%和8.28%；35 d时F1、F2和F3，F1、F2和F3处理旗叶的胞间 CO_2 浓度分别较CK高18.03%、5.72%和8.46%。结果表明，基肥配施不同土壤改良物均能够不同程度地提升黑青稞花后旗叶的胞间 CO_2 浓度，提升其光合作用速率，尤其以基肥配施生物质炭处理效果最佳。

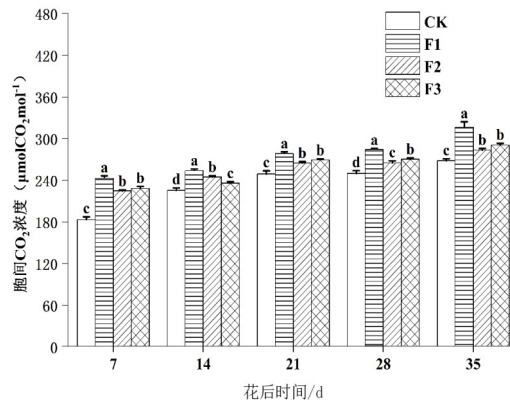


图4 不同处理对黑青稞旗叶胞间 CO_2 浓度的影响

Fig.4 Effects of different treatments on intercellular CO_2 concentration in flag leaves of black Qingke

2.5 不同处理对黑青稞蒸腾速率的影响

如图5可见，在花后不同时期，F1、F2和F3处理下旗叶蒸腾速率均显著高于对照CK处理($P < 0.05$)。其中：7 d时，F1、F2和F3处理的旗叶蒸腾速率分别较CK高22.22%、11.45%和13.74%；14 d时，F1、F2和F3处理的旗叶蒸腾速率分别较CK高31.56%、20.18%和22.39%；21 d时，F1、F2和F3处理的旗叶蒸腾速率分别较CK高22.56%、9.55%和12.88%；28 d时，F1、F2和F3处理的旗叶蒸腾速率分别较CK高23.02%、10.26%和11.35%；35 d时，F1、F2和F3处理的旗叶蒸腾速率分别较CK高30.34%、7.16%和11.85%。结果表明，基肥配施不同土壤改良物均能够不同程度地提升黑青稞花后旗叶的蒸腾速率，其中以基肥配施生物质炭效果最佳。

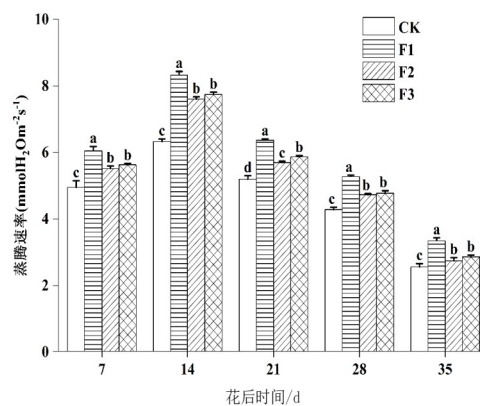


图5 不同处理对黑青稞旗叶蒸腾速率的影响

Fig.5 Effects of different treatments on flag leaf transpiration rate of black Qingke

3 讨论

叶绿素是植物叶片光合作用的催化剂，而光合作用是植物生长的物质基础，为其生长提供所需的营养物质，黑青稞旗叶光合作用是决定其产量的核心因素之一^[11]。于国宜等^[12]研究表明，基肥配施不同的新型肥料，能够有效提升小麦生育后期叶绿素含量和净光合速率，并减缓叶片衰老，提高了光合性能。乔维范等^[13]研究表明，在高寒冻土层基肥配施不同比例土壤改良剂，能够有效提升花叶海棠的光合特性。本文研究表明，在盐碱地环境下基肥配施不同土壤改良物，能够不同程度地提高黑青稞花后旗叶叶绿素含量、净光合速率、胞间CO₂浓度、气孔导度和蒸腾速率。表明，基肥配施土壤改良物可以在一定程度上有效减缓叶片衰老，延缓其叶绿素含量下降，延长花后旗叶有效光合作用期和灌浆持续期。这与前人在水稻^[14]和小麦^[15]上的研究结论一致。而关于黑青稞此方面的报道较少，本研究为黑青稞方面的基肥配施土壤改良物对光合特性的影响提供了理论基础，为黑青稞增产、当地农民创收提供现实指导意义。

4 结论

本研究结果表明，基肥施肥生物质炭、腐植酸、柠檬酸等3种不同土壤改良物，均能不同程度地提升盐碱环境下黑青稞花后旗叶的叶绿素含量、净光合速率、胞间CO₂浓度、气孔导度和蒸腾速率。其中，以基肥配施生物质炭处理的提升黑青稞旗叶叶绿素含量，增加有效光合作用，延长有效光合作用期和籽粒灌浆期，延缓后期叶片衰老的效果最好。综上所述，基肥配施不同土壤改良物对提升西藏盐碱地环境下黑青稞的光合性能，其中尤以基肥配施生物质炭处理对提高黑青稞光合性能的效果最好。

参考文献：

- [1] 卢晶,余波,江谥,等.58份青稞种质资源遗传多样性评价[J/OL].作物杂志,1-12 [2024-10-30].
- [2] SHVACHKO N A, LOSKUTOV I G, SEMILET T V, et al. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production [J]. *Molecules*, 2021, 26(8): 2260.
- [3] OBADI M, SUN J, XU B. Qingke: chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications [J]. *Food Research International*, 2021, 140: 110065.
- [4] 牛小霞,赵锋,柳小宁,等.青稞品种资源粒型性状与品质性状的分析与评价[J/OL].中国粮油学报,1-12[2024-10-30].
- [5] 张华国.乡村振兴战略背景下西藏青稞产业发展研究[J].安徽农业科学,2018,46(31):205-207,212.
- [6] 王继发,扎西措姆,尼玛卓嘎,等.混合盐碱胁迫对隆子黑青稞种子萌发及单叶期幼苗生长的影响[J].高原农业,2022,6(06):517-525.
- [7] 张华国.西藏山南隆子黑青稞产业发展路径研究[J].安徽农业科学,2021,49(16):248-250+255.
- [8] 纪耀坤,刘艳侠,贾利元,等.不同有机肥与基质长期配施对小麦根系生长及土壤改良效果的影响[J].江苏农业科学,2024, 52(17):65-72.
- [9] 白小龙,武晋民,张家豪,等.不同改良物料及其配施组合对河套平原盐碱土壤玉米光合与根系形态特征的影响[J/OL].生态学杂志,1-11[2024-11-10].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20240510.1034.007.html>.
- [10] 黄俊川.腐植酸,有机肥和硅钙镁对轻度盐碱地土壤特性和作物生长的影响[D].泰安:山东农业大学,2024.
- [11] 许明龙,赵香龙,朱定英,等.氮肥配施硫酸锰对隆子黑青稞光合特性的影响[J].高原农业,2023,7(06):612-620.
- [12] 于国宜,孔令聪,张亮,等.不同新型肥料对小麦光合特性,冠层结构及产量的影响[J].作物杂志, 2022,(04):193-198.
- [13] 乔维范,袁雅丽.高寒冻土层地区不同土壤改良措施对花叶海棠光合特性的影响[J].防护林科技,2017,(05):66-69.
- [14] 李俊周,郝鹏,陈星,等.氮肥用量对杂交籼稻Y两优886冠层结构和产量的影响[J].中国稻米,2018,24(04):113-116.
- [15] 雷肖肖.有机无机肥配施对不同品种冬小麦产量与氮磷效率的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2023.