

郭美俊,白亚青,杨艳君,等. 钼肥喷施对谷子生长生理及干物质积累分配的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(9):103-111.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.09.014

钼肥喷施对谷子生长生理及干物质积累分配的影响

郭美俊¹, 白亚青², 杨艳君¹, 武玉珍¹, 郭平毅²

(1. 晋中学院,山西晋中 030600; 2. 山西农业大学农学院,山西晋中 030801)

摘要:为探明微量元素钼对谷子干物质积累分配及产量构成因素的影响,采用田间试验,以晋谷 21 号为试验材料,于不同生育时期(拔节期、抽穗期、灌浆期)喷施不同浓度钼(0.04%、0.08%、0.10%、0.15%),分别在处理后测定谷子株高、叶面积、SPAD 值、光合参数、干物质积累、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量及产量和产量指标的变化,并分析了钼肥处理下谷子光合特性参数与谷子生长、干物质积累与产量的相关性。与对照相比,喷施不同浓度钼均促进了谷子株高、叶面积、SPAD 值、净光合速率和气孔导度,而胞间 CO₂ 浓度的变化呈相反趋势。同时,不同浓度钼处理均提高了谷子可溶性糖和可溶性蛋白含量,且 SPAD 值与可溶性蛋白含量呈极显著正相关;而胞间 CO₂ 浓度与可溶性糖、可溶性蛋白含量呈负相关。此外,叶面喷施 0.08% 钼于拔节期、抽穗期、灌浆期均可显著增加地上部、地下部生物量;钼浓度高于 0.10% 时,地上部、地下部生物量较对照均有所下降,其中抽穗期下降幅度与对照相比差异显著。谷子的产量与其产量指标测定结果表明,各时期在 0.08% 处理下,均能一定程度上提高谷子的穗质量、穗粒质量,且产量均达到最大值,其中抽穗期同比拔节期、灌浆期增产效果明显,较对照增加了 5.89%,增幅达最大值。相关性分析结果表明,SPAD 值与株高、叶面积、穗长和产量均表现为极显著正相关。光合速率与穗质量呈极显著正相关,与地上部生物量呈显著正相关。结合主成分法综合分析可知,谷子栽培生产中,抽穗期叶面喷施 0.08% 钼肥效果最佳。

关键词:谷子;螯合钼;钼肥;光合作用;干物质积累;综合评价

中图分类号:S515.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)09-0103-09

谷子[*Setaria italica* (L.) Beauv]被誉为“五谷之首”,具有抗旱耐贫瘠、适应性强、营养价值高等

特性,是我国北方旱作农业的主要粮食作物之一。土壤作为谷子生长的培养载体,为其提供整个生长周期中所需要的各种营养。其中,土壤中微量元素的含量及有效性对作物的生长发育有很大影响,可对作物产量和品质造成直接影响^[1-2]。

国内外大量研究表明,微量元素与生命活动密切相关,而微量元素肥料对作物生长和产量构成有重要影响。钼具有加速机体代谢过程、排除有害元素、提高细胞免疫力的作用,是人体和动物所必需的微量元素之一。近些年来,国内外关于平衡施肥

收稿日期:2022-06-29

基金项目:山西省高等学校科技创新项目(编号:2021L486);晋中学院博士基金(编号:J20200620);省部共建有机旱作农业国家重点实验室(编号:YJHZKF2107)。

作者简介:郭美俊(1989—),女,山西寿阳人,博士,讲师,主要从事作物化学调控与逆境生理研究,E-mail:guomeijun1989@126.com;共同第一作者:白亚青(1993—),女,山西寿阳人,硕士,主要从事作物化学调控与逆境生理研究,E-mail:2227670621@qq.com。

通信作者:杨艳君,博士,教授,主要从事作物化学调控与逆境生理研究。E-mail:yyj1210@sina.com。

[13]陈俊孝,游艾青,刘凯. 杂交水稻表型、杂种优势和配合力的关系[J]. 湖北农业科学,2020,59(24):24-29.

[14]曹应江,游书梅,蒋开锋,等. 水稻产量性状一般配合力 QTL 定位[J]. 核农学报,2020,34(9):1921-1932.

[15]刘金波,宋兆强,王宝祥,等. 几个新选杂交水稻不育系和恢复系的主要农艺性状的配合力分析[J]. 西南农业学报,2016,29(2):209-213.

[16]曾庆宁,吕建群,陈林,等. 四川及南亚水稻恢复系农艺性状的配合力及遗传力分析[J]. 西南农业学报,2014,27(2):463-468.

[17]黎毛毛,徐磊,刘昌文,等. 水稻粒形遗传及 QTLs 定位研究进

展[J]. 中国农业科技导报,2008,10(1):34-42.

[18]张征,张雪丽,莫博程,等. 籼型杂交水稻农艺性状的配合力研究[J]. 作物学报,2017,43(10):1448-1457.

[19]刘建丰,陈光辉,何强,等. 不同产量水平杂交稻产量构成因素的分析[J]. 云南农业大学学报,2006,21(6):707-710,720.

[20]曾宪平,何芳,吕建群. 四川 2001—2010 年审定水稻品种农艺与品质性状的典型相关分析[J]. 西南农业学报,2011,24(5):1631-1635.

[21]张进帅,黄翠红,王慧,等. 水稻单株产量相关性状的关联性及其通径分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(18):108-113.

技术的快速发展,钼在作物生长发育中的重要作用也得到了证实。有研究表明,钼的稳态平衡不仅可以提高氮利用率,缓解肥料的不合理施用造成的氮肥利用率低、土壤酸化等问题,而且对作物的生长、产量及品质产生不同程度的影响^[3]。钼肥增施不仅可以提高需钼含量较高的经济类作物以及豆科作物的产量和品质,同样也可以应用于禾本科作物。大量研究发现,高氮条件下冬小麦田配施钼酸铵能促进出苗数、冬至苗数和穗数,增加株高、穗长、植株及麦穗整齐度^[4];施钼肥能有效地提高玉米大豆间作中玉米的产量,玉米产量可达到 7 452.406 kg/hm²^[5];钼、锌配施或钼肥单施能够有效提高干物质积累速率,促进小麦、玉米穗粒数增加^[6]。

目前,土壤缺钼现象在我国仍然存在,且随着土壤酸化的发生,钼缺乏问题有潜在增长趋势。由于土壤环境的差异,植物对于微量元素的吸收、转化能力也有很大的不同。山西省属于黄土母质,全省土壤有效钼含量偏低,导致植株吸收钼的主要途径受阻。因此,生产中通过钼肥拌种、浸种、叶面喷施等方法提高植株器官中的钼含量。前人研究表明,用 0.1% 钼肥处理花生种 12 h,不仅能显著增产花生果,增加花生仁蛋白质的含量,而且能有效促进根瘤菌的繁殖和生长^[7];大豆田,硼肥(184.5 g/hm²)配施钼肥(36 g/hm²)可以促进菜用大豆 2~3 粒荚的比例,提高大豆有效单粒数^[8];钼酸浸种能增加苜蓿中粗蛋白质含量,降低粗纤维含量,提高苜蓿的营养价值^[9];烟叶还苗期、团棵期分别喷施不同浓度钼,能促进云南烤烟生长,协同干物质分配,提高烟叶产量^[10];单施钼或钼、锌配施均可影响白菜的生长发育,如可溶性糖、蛋白质、维生素含量和产量的提高,以及硝酸盐含量显著降低^[11]。

本研究以晋谷 21 号为材料,在谷子拔节期、抽穗期、灌浆期进行施钼处理,从农艺性状、叶绿素含量、光合特性和干物质积累量进行研究,探究叶面施钼对谷子产量及产量构成的影响,明确钼肥在晋谷 21 号上应用的最适浓度及最佳时期,为钼的科学应用提供理论价值和实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试谷子品种为优质谷子晋谷 21 号,由山西农业大学经济作物研究所提供。

供试钼肥为浓缩钼(螯合钼成分 $\geq 99\%$,单一

微量元素),由东立信生物工程有限公司生产。

1.2 试验设计

试验于 2018—2019 年在山西农业大学申奉村试验基地进行,采用随机区组设计,供试土壤为碳酸盐褐土,有效钼含量为 0.12 mg/kg。分别于谷子拔节期、抽穗期、灌浆期喷施不同浓度的螯合钼,喷施浓度为 T1(0.04%)、T2(0.08%)、T3(0.10%)、T4(0.15%),以清水作为对照(T0),兑水量为 900 L/hm²。试验重复 3 次,共 45 个小区,小区面积为 6 m²。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 株高及叶面积 分别于拔节期、抽穗期、灌浆期喷施钼肥后 7 d 和 14 d,选取生长态势一致的谷子植株,用直尺进行株高的测定(植株基部到旗叶的高度)。利用 CI-203 手持式激光叶面积仪测定叶面积。

1.3.2 SPAD 值和光合参数 于晴天 10:00—11:00 用 SPAD 仪器和便携式光合仪(CI-340,美国思爱迪生态科学仪器有限公司)测定谷子倒 2 叶的叶绿素含量和净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度。

1.3.3 可溶性糖和可溶性蛋白质 参照申洁的方法测定可溶性糖和可溶性蛋白含量^[12]。

1.3.4 干物质积累 在谷子成熟期,取拔节期、抽穗期、灌浆期处理的长势均匀的植株 4 穴,4 次重复。带回实验室,将植株样品分为穗、叶片+茎鞘(地上部)、根(地下部),装入牛皮纸袋并做好标记,放入烘干箱 105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘干至恒质量。

1.3.5 产量及其构成因素 在谷子成熟期,每个小区随机采集 30 穗用于估算产量指标(穗粗、穗长、千粒质量等)。对各处理小区进行单打单收,测其籽粒质量,从而计算该小区的理论产量。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理,利用 DPS 7.05 分析软件进行数据统计分析,用 Duncan's 新复极差法进行显著性分析,用 Sigma Plot 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期喷施钼肥对谷子农艺性状的影响

叶面喷施钼肥后,随着生育时期的推进,谷子株高呈现先升高后降低的趋势(图 1)。在拔节期喷

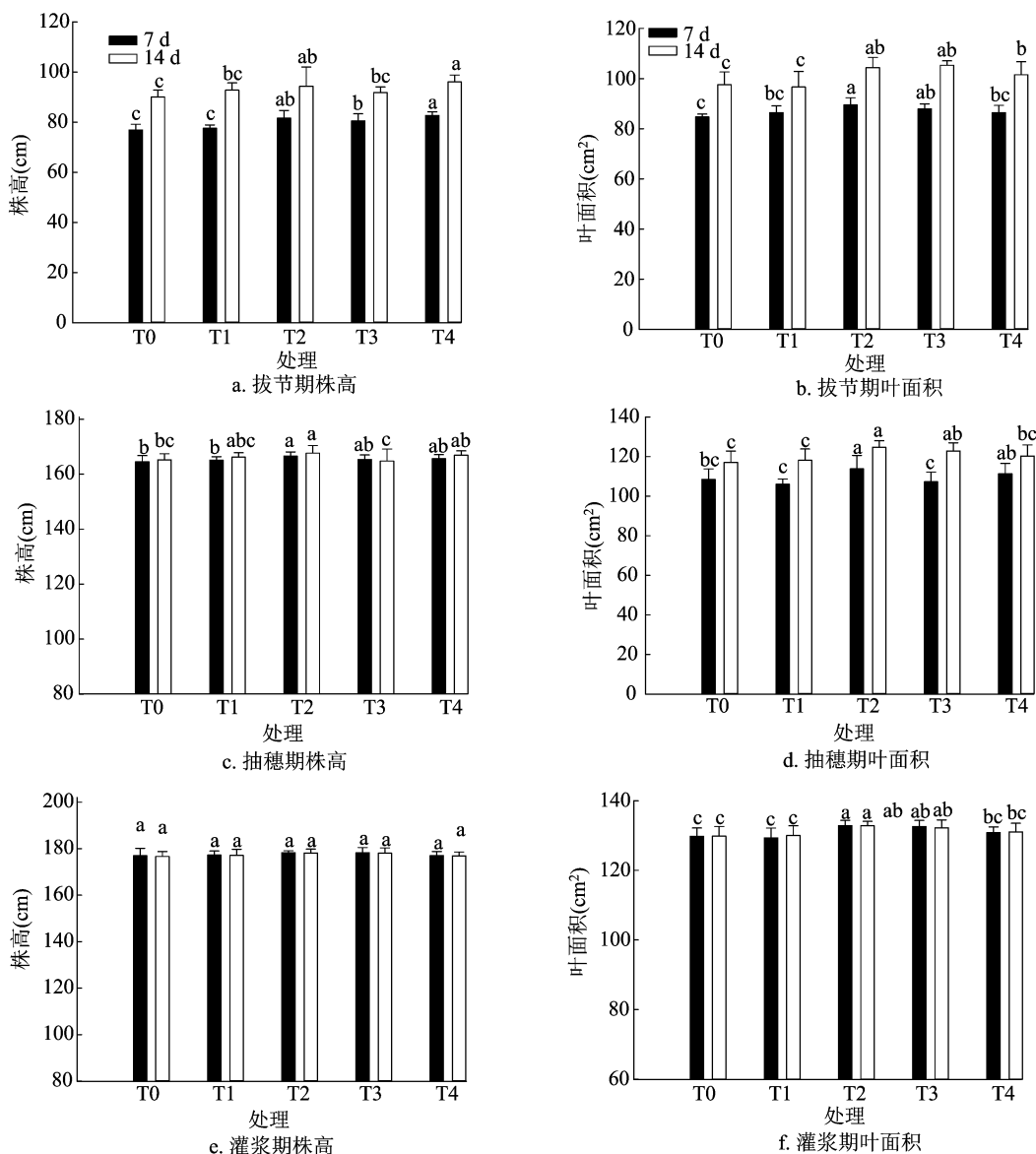
施钼肥 7、14 d 后,谷子在 T2 处理下较对照分别增加了 6.13%、4.70%,且与对照存在显著差异。谷子抽穗期喷施钼肥 7、14 d 后,T2 处理与对照相比分别显著增加了 2.37%、2.86%,其余各处理差异不显著。谷子灌浆期喷施钼肥后,各处理间无显著差异。说明拔节期喷施钼肥有利于促进谷子营养生长,而灌浆期肥效不明显。

喷施钼肥 7、14 d 后,拔节期、抽穗期各处理叶面积同比对照增幅分别为 1.98%~7.91%、0.87%~6.50%,其中 T0、T1 处理间差异不显著。在抽穗期、灌浆期喷施钼肥 7、14 d 后,谷子叶面积在 T2 处理下较对照分别增加了 4.92%、6.50% 和 4.43%、4.31%,且与对照存在显著差异。总体上看,T2 处

理在谷子各时期与对照相比均达到显著性差异,说明以 T2 浓度喷施钼肥可以提高群体叶面积,提高叶片截光率,延长叶片功能期。

2.2 不同生育时期喷施钼肥对谷子 SPAD 值和光合特性的影响

由图 2 可知,随着钼肥浓度的增加,谷子叶片 SPAD 值均高于对照,且呈先增加后减小的趋势。拔节期和灌浆期喷施钼肥后,谷子叶片 SPAD 值在 T3 处理下较对照分别增加了 14.95%、6.94%,且均达到最大值;谷子抽穗期喷施钼肥后,T4 处理下,谷子叶片 SPAD 值达最大值,与对照相比显著增加 6.99%,与其余处理间差异显著。在拔节期和抽穗期喷施钼肥后,T2 处理下,谷子叶片净光合速率均



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2、图 5、图 6 同

图 1 叶面喷施钼对谷子关键生育期株高和叶面积的影响

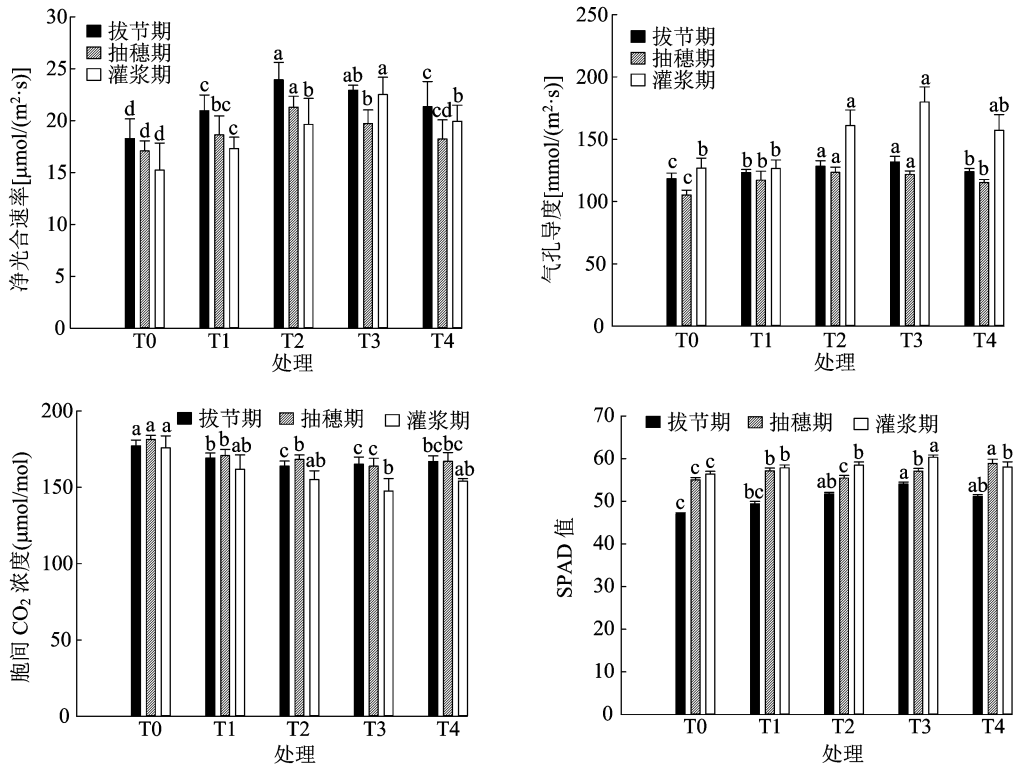


图2 叶面喷施钼对谷子关键生育期 SPAD 值和光合参数的影响

呈现最大值,与对照相比显著增加 30.98%、24.65%。拔节期和抽穗期喷施钼肥后,谷子叶片气孔导度和胞间 CO₂ 浓度与对照相比均存在显著差异。谷子灌浆期喷施钼肥后,谷子叶片气孔导度在 T2、T3 处理下较对照分别显著增加了 26.86%、41.74%,胞间 CO₂ 浓度在 T3 处理下与对照相比显著减少 16.06%。由此表明,喷施适宜浓度钼肥能有效提高谷子叶片叶绿素含量,进而促进谷子的光合作用。

2.3 不同生育时期喷施钼肥对谷子可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

由表 1 可知,拔节期喷施钼肥后,T3、T4 处理下可溶性糖、可溶性蛋白含量与对照相比分别显著增加了 22.30%、21.85% 和 43.76%、40.86%。抽穗期喷施钼肥后,与对照相比,T4 处理下可溶性糖含量增加了 4.52%,其余各处理均与对照存在显著差异;T3 处理下可溶蛋白含量显著增加了 21.26%,其余各处理与对照差异不显著。灌浆期喷施钼肥后,与对照相比,各处理下可溶性糖含量均差异不显著;T3 处理下可溶蛋白含量显著增加了 35.01%,其余各处理差异不显著。相关性分析结果(图 3 和图 4)表明,叶片气孔导度、SPAD 值与可溶性糖、可溶性蛋白含量呈正相关,且 SPAD 值与可溶性蛋白含

量呈极显著正相关;胞间 CO₂ 浓度与可溶性糖、可溶性蛋白含量呈负相关;净光合速率与可溶性糖含量呈正相关,与可溶性蛋白含量呈负相关。由此说明,谷子通过调节光合作用,进而促进可溶性糖和

表 1 叶面喷施钼对晋谷 21 号可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

施钼期	处理	可溶性糖含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)
拔节期	T0	8.85 ± 0.40b	6.31 ± 0.32b
	T1	9.40 ± 1.27ab	8.05 ± 0.15ab
	T2	9.92 ± 1.54ab	7.77 ± 1.12ab
	T3	10.83 ± 0.76a	9.07 ± 0.64a
	T4	10.79 ± 0.47a	8.88 ± 0.78a
抽穗期	T0	10.18 ± 0.40c	12.13 ± 0.10b
	T1	11.90 ± 0.17a	12.89 ± 0.37ab
	T2	11.86 ± 0.47a	14.48 ± 1.10ab
	T3	11.55 ± 0.30ab	14.71 ± 1.10a
	T4	10.64 ± 0.44bc	13.72 ± 0.38ab
灌浆期	T0	9.02 ± 0.83ab	11.51 ± 0.54b
	T1	8.64 ± 0.73b	11.88 ± 0.55ab
	T2	12.17 ± 0.69a	13.29 ± 0.86ab
	T3	10.39 ± 1.27ab	15.54 ± 1.57a
	T4	10.76 ± 0.61ab	14.90 ± 1.47ab

注:同一时期同列数据后的不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上差异显著。表 2 同。

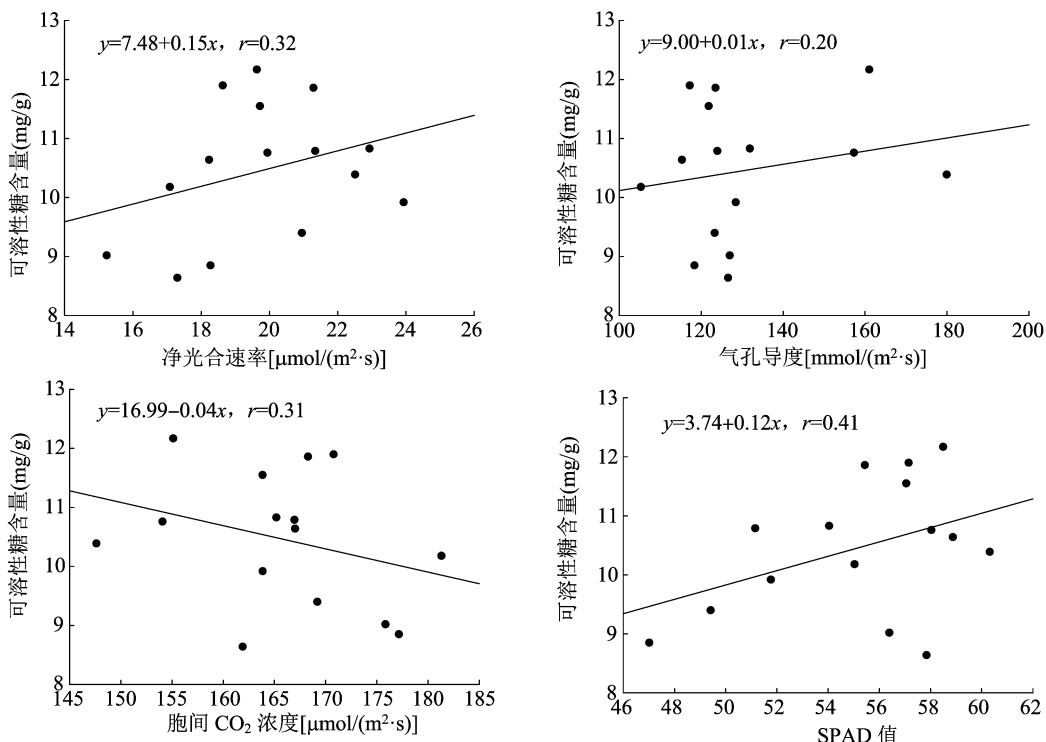


图3 叶片光合参数与可溶性糖含量的关系

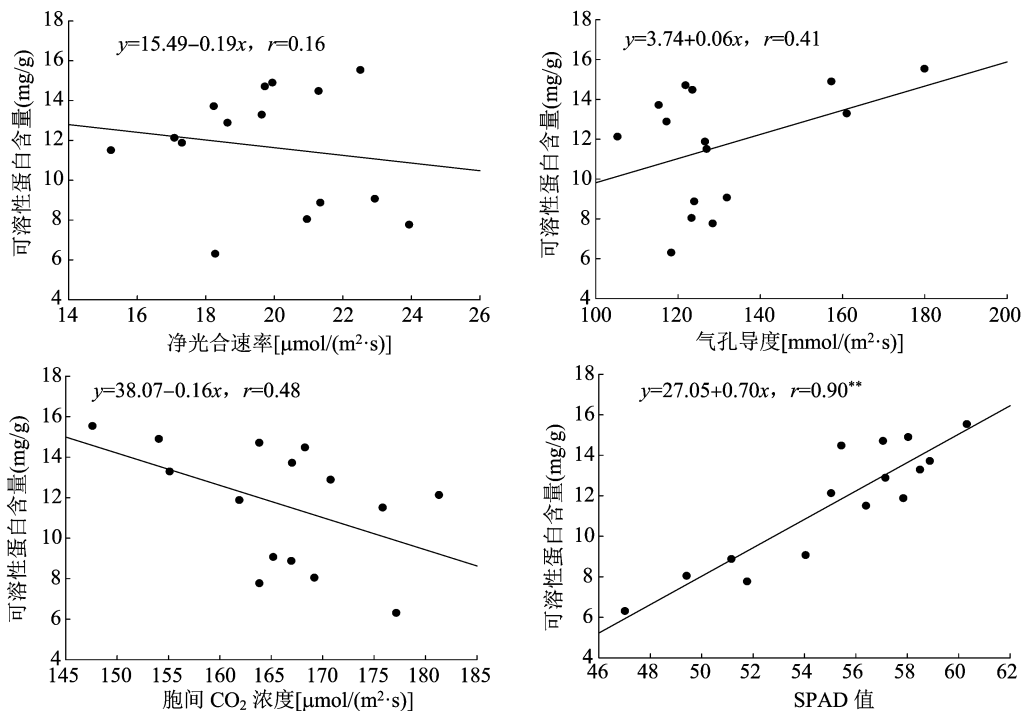


图4 叶片光合参数与可溶性蛋白含量的关系

可溶性蛋白的积累。

2.4 不同生育时期喷施钼肥对谷子干物质积累的影响

由图5可知,叶面喷施钼肥后,随着生育时期的推进,谷子地上部生物量、地下部生物量均呈现先

升高后降低的趋势,其中在 T2 处理下达最大值,与对照相比差异显著。拔节期喷施钼肥后,T2 处理下地上部生物量、地下部生物量与对照相比分别显著增加了 13.77%、37.03%,且与其余各处理差异显著;与对照相比,T2 处理下穗质量增加了 8.50%。

抽穗期喷施钼肥后, T2 处理下地上部生物量、地下部生物量与对照相比分别显著增加了 9.12%、76.31%, 且 T2 处理地下部生物量与其余各处理差异显著。灌浆期喷施钼肥后, T2 处理下地上部生物量、地下部生物量与对照相比分别显著增加了 28.45%、25.00%; 除 T3 处理外, T2 处理下地上部生物量、地下部生物量与其余各处理均存在显著差异。抽穗期、灌浆期谷子穗质量在 T2、T3 处理下与对照

相比分别显著增加了 10.81%、8.92% 和 10.55%、15.73%, 其余处理与对照差异均不显著。T4 处理下, 与对照相比, 拔节期谷子地上部生物量、地下部生物量均增加; 抽穗期、灌浆期谷子地上部生物量、地下部生物量均降低, 且地上部生物量与对照相比存在显著差异。结果表明, 钼在谷子不同生育期下积累、分配、转运存在差异性, 是不同时期喷施钼对谷子生物量产生差异的原因。

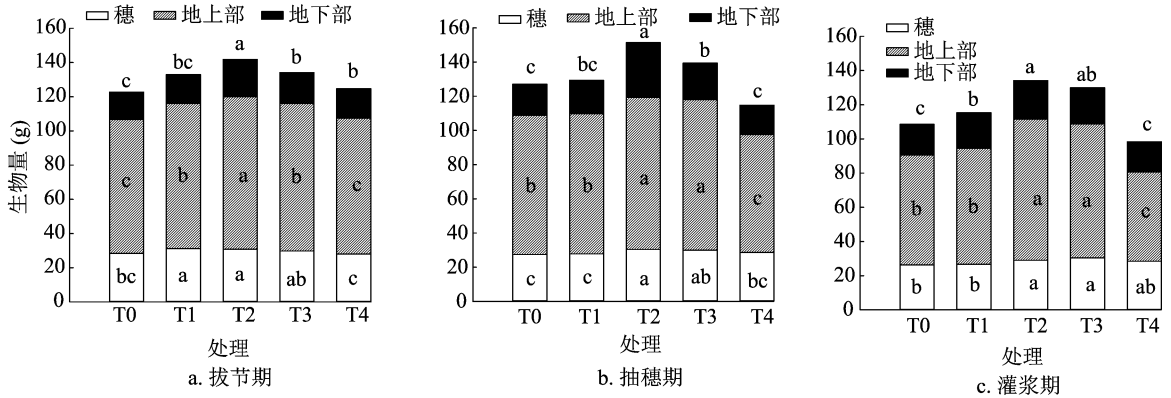


图5 叶面喷施钼对谷子关键生育期干物质积累的影响

2.5 不同生育时期喷施钼肥对谷子产量及其相关因素的影响

从表 2 和图 6 可以看出, 随着钼肥施用剂量的增加, 谷子的产量增幅逐渐减少。拔节期喷施钼肥后, 随着钼肥浓度的增加, 谷子穗长、穗粗、千粒质量与对照相比均差异不显著, 且穗粗、千粒质量处理间无显著差异; 在 T2 处理下, 产量较对照显著增加了 2.86%, 其余各处理差异不显著。抽穗期喷施钼肥后, T2、T3、T4 处理与对照相比产量存在显著差异, 分别增加 5.89%、3.36%、4.71%; 穗长、千粒质量与对照相比均差异不显著, 且穗长各处理间无显著差异。灌浆期喷施钼肥后, 穗长各处理间无显著差异; T2、T3 处理下穗粗与对照相比差异显著, 分别增加了 8.67%、6.58%; 产量在 T2、T3、T4 处理下与对照相比显著增加了 3.41%、2.03%、2.18%。说明在不同时期喷施钼肥均能带来增产效应, 其中在抽穗期效果最佳。

2.6 不同生育时期钼肥处理下光合特性参数与谷子生长、干物质积累及产量的关系

由表 3 可知, SPAD 值与株高、叶面积、穗长和产量均表现为极显著正相关。光合速率与穗质量呈极显著正相关, 与地上部生物量呈显著正相关。除产量外, 气孔导度与株高、叶面积、地上部生物

表 2 叶面喷施钼对晋谷 21 号产量的影响

施钼期	处理	产量 (kg/hm ²)	产量增幅 (%)
拔节期	T0	6 108.60 ± 4.19b	—
	T1	6 150.30 ± 1.66b	0.68
	T2	6 283.50 ± 4.17a	2.86
	T3	6 191.85 ± 2.54ab	1.36
	T4	6 141.90 ± 4.19b	0.54
抽穗期	T0	6 200.25 ± 4.40c	—
	T1	6 275.25 ± 7.15bc	1.21
	T2	6 565.50 ± 2.54a	5.89
	T3	6 408.60 ± 10.04ab	3.36
	T4	6 491.85 ± 5.35a	4.71
灌浆期	T0	6 394.20 ± 3.41c	—
	T1	6 441.90 ± 5.85bc	0.74
	T2	6 616.95 ± 4.19a	3.41
	T3	6 525.30 ± 5.01ab	2.03
	T4	6 533.55 ± 3.46ab	2.18

量、地下部生物量、穗质量、穗长、穗粗、千粒质量均不相关。胞间 CO₂ 浓度与产量呈极显著负相关, 而与株高、叶面积、地上部生物量、地下部生物量、穗质量、穗长、穗粗、千粒质量均不相关。可见, SPAD 值和光合速率对谷子干物质积累分配具有更为积极的作用。

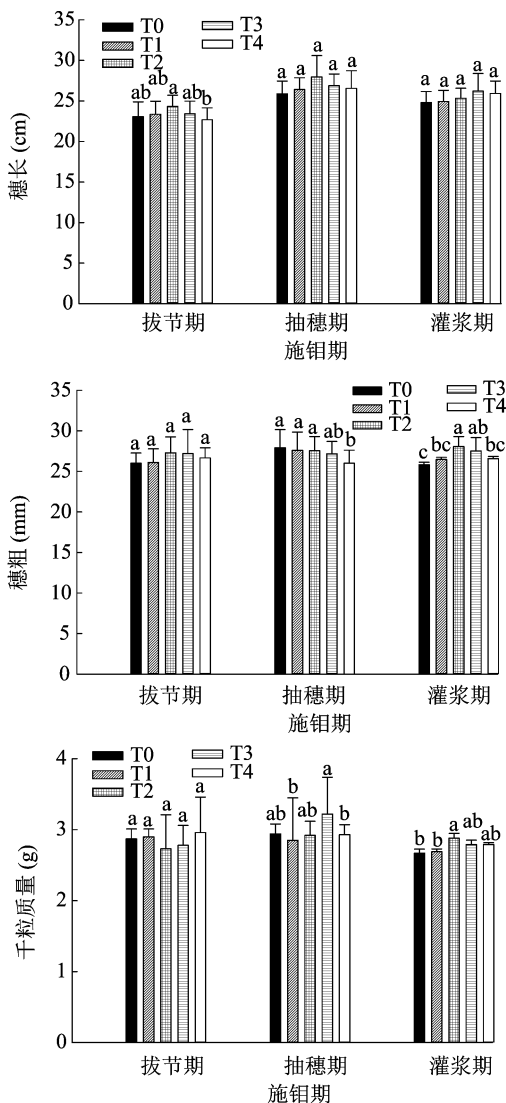


图6 不同处理产量构成因素的比较

2.7 不同生育时期喷施钼肥对谷子生长及产量的综合评价

主成分分析结果(表4)表明,前4个主成分特征值的累计贡献率达92.4269%,包括了谷子主要产量性状的绝大多数信息,因此提取前4个主成分。由表4可知, F_1 的特征值是4.1138,对总遗传信息的贡献率最大为45.7091%; F_2 的特征值是2.5631,贡献率为28.4792%; F_3 的特征值为0.9259,贡献率为10.2873%; F_4 的特征值是0.7156,贡献率为7.9512%。从表5可以看出,各时期在0.08%处理下,产量均达到最大值,其中抽穗期同比拔节期、灌浆期增产效果明显。综合喷施钼肥对谷子各方面影响分析,抽穗期喷施0.08%的钼肥在谷田施用具有较好的经济和生态效益。

3 讨论

叶面喷施适宜浓度的钼肥对作物的生长具有明显的促进作用,可以加快作物营养器官的干物质积累,促进作物产量构成因素的增加,最终导致作物产量的提高^[13-16]。研究表明,喷施钼不仅能显著加快小麦营养期内植株干物质累积速率及累积量,而且也提高小麦后期微量元素从营养器官向籽粒分配和运输的比例^[6]。岳桂华研究发现,施钼可以显著增加大豆叶片叶绿素含量^[17];Ali等的研究表明,通过钼肥浸种提高玉米叶绿素含量可以抵抗不良因素对玉米造成的影响^[18]。

植物的生长状况会通过植物的形态指标直观地反映出来,其中株高和叶面积是判断植物生长状

表3 谷子光和参数与生长、干物质积累及产量指标的相关性

参数	相关系数								
	株高	叶面积	地上部生物量	地下部生物量	穗质量	穗长	穗粗	千粒质量	产量
SPAD 值	0.88 **	0.93 **	-0.36	0.28	-0.20	0.73 **	0.34	-0.06	0.82 **
光合速率	-0.49	-0.31	0.51 *	0.28	0.83 **	-0.15	0.35	0.05	-0.06
气孔导度	0.27	0.40	-0.23	0.14	0.27	0.10	0.26	-0.29	0.57 *
胞间 CO ₂ 浓度	-0.27	-0.42	0.17	-0.23	-0.38	-0.21	-0.26	0.12	-0.63 **

注: *表示在0.05水平上显著相关, **表示在0.01水平上极显著相关。

表4 生长指标相关矩阵的特征值、贡献率和累计贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
F_1	4.1138	45.7091	45.7091
F_2	2.5631	28.4792	74.1884
F_3	0.9259	10.2873	84.4757
F_4	0.7156	7.9512	92.4269

况的重要农艺指标。叶片作为植物进行光合作用的主要器官,其叶面积大小能直接影响作物的光能吸收、转化及碳水化合物的合成^[19]。本研究表明,不同生育期喷施钼肥,谷子的株高、叶面积、地上部和地下部生物量都有一定程度的提高作用,与前人研究结果^[19]一致。

表 5 主成分因子得分和总排名

施钼期	处理	主成分因子得分				综合主成分	
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	得分	排名
拔节期	T0	-3.391 9	-0.436 4	0.357 2	0.165 7	-3.305 4	14
	T1	-3.189 1	1.069 4	0.025 5	1.250 0	-0.844 2	9
	T2	-1.441 3	1.686 3	-1.677 7	0.075 9	-1.356 8	10
	T3	-2.249 0	0.939 7	-0.853 1	-0.426 9	-2.589 3	12
	T4	-2.794 4	0.072 5	0.716 1	-0.451 5	-2.457 1	11
抽穗期	T0	0.338 5	0.245 0	1.065 7	-1.810 4	-0.161 3	7
	T1	0.735 6	0.088 2	0.354 7	-1.318 6	-0.140 1	6
	T2	1.476 6	1.933 6	2.256 0	0.570 3	6.236 5	1
	T3	3.284 2	2.433 7	-0.830 0	0.642 3	5.530 3	2
	T4	0.876 2	-1.342 9	1.043 7	1.232 1	1.809 2	4
灌浆期	T0	0.185 0	-3.169 0	-0.426 4	-0.080 6	-3.491 1	15
	T1	0.800 0	-2.227 1	-0.752 0	-0.418 8	-2.597 8	13
	T2	2.205 1	0.738 5	-0.432 4	-0.620 4	1.890 8	3
	T3	1.860 6	0.439 9	-0.799 2	0.275 7	1.777 0	5
	T4	1.303 7	-2.471 2	-0.048 2	0.915 1	-0.300 7	8

叶绿素含量的高低在一定程度上反映了光合作用的强弱,是植物进行光合作用的基础,能有效体现植物的生长状况,进而保障干物质积累和产量的形成^[20]。有研究发现,钼能显著增加植物叶片中的色素含量,如叶面喷施适宜浓度的钼肥能显著促进烟叶叶绿素含量,进而提高叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度,最终影响烟叶的生长^[21]。本研究表明,叶面喷施螯合钼对谷子叶片 SPAD 值有不同程度的促进作用,且与净光合速率的变化趋势基本一致,表明叶绿素含量的增加是引起净光合速率升高的重要原因。同时,叶面喷施钼可以促进叶绿素含量的增加,保持叶片持绿性,延长灌浆时间,进而提高谷子的光合能力,最终影响产量,与前人研究结果^[20-21]一致。

产量是检验粮食作物栽培管理措施是否有效的最直接的指标之一,其变化情况可以直接反映作物生长是否良好^[22-23]。国内外大量研究表明,钼肥对作物生长和产量构成有重要影响。适量增施钼肥可以显著提高作物的产量,且在小麦、大豆、玉米等多种作物上均有报道^[24-27]。朱旺冲等的研究表明,钼肥拌种、始花期叶面施钼均能显著提高大豆单株有效荚数,较对照相比分别增加 14.87%、23.32%^[28]。李欢欢等研究发现,施用钼肥能提高小麦产量,其增产幅度达 3.52%^[29]。与前人研究结果一致,本研究中在谷子生育期内不同阶段(拔

节期、抽穗期、灌浆期)施钼,随钼浓度的增加,与对照相比,晋谷 21 的产量均有所增加;此外,叶面喷施钼浓度为 0.08% 时可有效增加谷子产量,产量呈最大值。运用主成分分析对不同时期施用钼处理下谷子的生长及产量指标的变化进行综合评价,前 4 个主成分因子的累积贡献率已经达到 92.426 9%,包括了谷子主要产量性状的绝大多数信息。综合得分情况说明,抽穗期喷施 0.08% 的钼肥在谷田施用具有较好的经济和生态效益。

4 结论

钼肥在谷子生长发育中的需求量较少,但钼肥对其生长发育的作用却十分关键。通过叶面喷施钼可以有效增加叶面积,促进谷子营养生长。不同处理时期对谷子增产效果进行比较,同一浓度喷施钼所呈现的增产效果不同,抽穗期增产效果最明显。综合分析,谷子大田栽培生产中,钼肥提高产量的最佳处理时期及浓度为抽穗期喷施 0.08% 的钼肥。

参考文献:

- [1] Clark R B, Ritchey K D, Baligar V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land[J]. Fuel, 2001, 80(6): 821-828.
- [2] Raliya R, Tarafdar J C, Biswas P. Enhancing the mobilization of native phosphorus in the mung bean rhizosphere using ZnO

- nanoparticles synthesized by soil fungi [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64 (16) : 3111 – 3118.
- [3] 白亚青. 钼浸种与叶面喷施对晋谷 21 生理生化及产量性状的影响 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2020.
- [4] 胡承孝, 王运华, 魏文学, 等. 钼在冬小麦植株中的分布研究 [J]. 华中农业大学学报, 2000, 19 (6) : 568 – 572.
- [5] 陈颖, 刘晶. 钼肥与玉米大豆间作体系中大豆根瘤菌的互作效应 [J]. 山地农业生物学报, 2007, 26 (1) : 6 – 12.
- [6] 杨静. 喷施微量元素对冬小麦、夏玉米生长发育、产量及品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012: 11, 16.
- [7] 姚健, 杨稚娟, 戴爱梅, 等. 钼酸铵施用方法对花生生长与产量的影响 [J]. 山西农业科学, 2015, 43 (1) : 40 – 42, 57.
- [8] 薛占奎, 胡台琅, 施凤雪, 等. 硼、钼肥配施对菜用大豆鲜荚产量及主要农艺性状的影响 [J]. 东北农业科学, 2016, 41 (1) : 20 – 22.
- [9] 王立克, 洪法水. 钼浸种处理对苜蓿各生育期硝酸还原酶活性及营养成分的影响 [J]. 草业科学, 1996, 13 (5) : 48 – 49, 55.
- [10] 崔国明, 张辉. Mo 肥对烟叶产量品质的影响 [J]. 烟草科技, 2000, 33 (3) : 39 – 41.
- [11] 段晓琴. 钼锌与不同肥料配施对大白菜硝酸盐积累及品质的影响 [J]. 北方园艺, 2010 (22) : 53 – 55.
- [12] 申洁. 腐殖酸对谷子抗旱生理特性及产量的影响 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2019: 62.
- [13] 李春霞. 锰、铁和钼肥处理种子与叶面喷施对小麦生长与吸收的影响及其机制 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 75 – 76.
- [14] Guo J, Kliem K E, Lovegrove J A, et al. Effect of production system, supermarket and purchase date on the vitamin D content of eggs at retail [J]. Food Chemistry, 2017, 221 : 1021 – 1025.
- [15] Wojtkowiak K, Warechowska M, Stepień A, et al. Crop yield and micronutrient contents (Cu, Fe, Mn and Zn) in spring wheat grain depending on the fertilization method [J]. Journal of Central European Agriculture, 2017, 18 (1) : 135 – 149.
- [16] Joshi A, Kaur S, Dharamvir K, et al. Multi-walled carbon nanotubes applied through seed-priming influence early germination, root hair, growth and yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98 (8) : 3148 – 3160.
- [17] 岳桂华. 钼磷酸钾拌种对大豆苗期生长的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31 (2) : 179 – 180.
- [18] Ali N, Hadi F, Ali M. Growth stage and molybdenum treatment affect cadmium accumulation, antioxidant defence and chlorophyll contents in *Cannabis sativa* plant [J]. Chemosphere, 2019, 236 : 124360.
- [19] 刘阳, 郭平毅, 原向阳, 等. 叶面喷施二甲四氯对张杂谷 10 号光合特性及产量构成的影响 [J]. 西北农业学报, 2016, 25 (9) : 1311 – 1318.
- [20] 闫萌萌, 王铭伦, 王洪波, 等. 光质对花生幼苗叶片光合色素含量及光合特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (2) : 483 – 487.
- [21] 郑璞帆, 勾薇, 陈富彩, 等. 叶面喷施微量元素对烤烟光合特性、氮钾含量及产值的影响 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2017, 45 (10) : 41 – 48.
- [22] Chatterjee R, Bandyopadhyay S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2017, 16 (4) : 332 – 336.
- [23] Mashayekhi S, Khajoeinejad G, Mohammadinejad G. Evaluation of yield and yield components of different millet genotypes under two irrigation regimes [J]. Pizhühishhā – Yi Zirāi – i Īrān, 2016, 14 (1) : 120 – 132.
- [24] 胡承孝, 王运华, 谭启玲, 等. 钼、氮肥配合施用对冬小麦子粒蛋白及其氨基酸组成的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8 (2) : 224 – 228.
- [25] Xu S J, Hu C X, Hussain S, et al. Metabolomics analysis reveals potential mechanisms of tolerance to excess molybdenum in soybean seedlings [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 164 (8) : 589 – 596.
- [26] Kovács B, Puskás – Preszner A, Huzsvai L, et al. Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2015, 96 (6) : 38 – 44.
- [27] 聂必林, 田中平, 如马南木·尼合买提, 等. 根部浇施和叶面喷施钼肥对黑果枸杞幼苗生长及荧光特性的影响 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (16) : 127 – 133.
- [28] 朱旺冲, 李成业, 吴晓峰, 等. 钼肥施用方式对春大豆“五月黄”农艺性状及产量形成的影响 [J]. 湖南农业科学, 2019 (8) : 46 – 49.
- [29] 李欢欢, 白波, 尚云峰, 等. 硼钼钙肥在高产小麦上的应用效果研究 [J]. 农业科技通讯, 2010 (3) : 33 – 35.