

张 敏, 陈佳佳, 杨 正, 等. 化肥减施配施生物有机肥对花生生长、保护酶活性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(21): 86–93.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.21.013

化肥减施配施生物有机肥对花生生长、保护酶活性及产量的影响

张 敏¹, 陈佳佳², 杨 正², 李 林³, 兰时乐²

(1. 湖南省桃江县大栗港镇政府, 湖南桃江 413403; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南长沙 410128;

3. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128)

摘要:为探讨化肥减施配施生物有机肥对花生叶片叶绿素含量、主要农艺性状、干物质积累及分配、保护酶活性、丙二醛(MDA)含量、产量构成因素的影响,采用田间小区试验,以湘花 9760 为研究对象,设置不施肥(CK)、纯化肥(H)、80%化肥+20%生物有机肥(I)、60%化肥+40%生物有机肥(J)、40%化肥+60%生物有机肥(K)、20%化肥+80%生物有机肥(L)、纯生物有机肥(M)7个不同的处理。结果表明,化肥减施配施生物有机肥处理下的花生叶片叶绿素 SPAD 值、主茎高、第一侧枝长较纯化肥组和对照组提高整个生育期各处理根、茎、叶干物质积累量及生物总量均高于对照组;配施 40%生物有机肥组成熟期叶片中 SOD、POD、CAT 活性均高于对照组,MDA 含量低于对照组;饱果数、饱果率、单株荚果产量、百仁质量均高于对照组。生物有机肥代替 40%的化肥,每 667 m² 产量较对照组和纯化肥组分别提高 16.65%、11.28%。表明,适宜的化肥减施可提高花生产量。

关键词:化肥减施;花生;生物有机肥;农艺性状;保护酶活性;花生产量

中图分类号: S565.2.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)21-0086-08

花生(*Arachis hypogaea*)属于豆科落花生属,为一年生植物^[1]。作为我国重要的油料作物,花生栽培面积居油料作物中第 2 位,仅次于油菜,产量居油料作物总产量第 2 位。2018 年花生播种面积达到 462 万 hm²,是油料作物总播种面积的 35.89%,花生总产量为 1 693.0 万 t,占油料作物总产量的 50.48%^[2]。随着人们消费方式的改变,花生油在日常植物油消费中已占有重要地位,需求量不断增加。施肥是提高作物产量的主要方式。目前我国花生种植过程中普遍存在滥施化肥、轻施有机肥的问题,导致肥料贡献率下降,污染地下水体,破坏土壤结构和生态平衡^[3-5],降低了花生的品质和市场竞争力。

近年来,在农作物栽培上化肥减施已成为研究热点。施用生物有机肥不仅能改善土壤理化性状

和土壤有益微生物种群结构,减少作物病虫害的发生,而且还能促进作物生长,提高作物产量和改善农产品品质。黄志鹏等研究化肥减施对花生根际土壤微生物菌群结构的影响,发现化肥减施 50% 时,花生根际土壤细菌群落最丰富^[6];余金富研究减施化肥对花生产量的影响,结果表明,减施 10%、20% 的化肥后,花生荚果产量较对照组分别增加 13.6% 和 17.6%^[7];李丹娥利用有机肥替减化肥进行大田试验,获得了有机肥配施化肥可提高花生产量和土壤肥力的结果^[8]。本研究通过田间小区试验,利用生物有机肥替代不同比例的化肥,研究化肥减施配施生物有机肥对花生主要农艺性状、干物质积累及分配、光合特性、保护酶活性和花生经济性状的影响,以期对花生生产中的化肥减施提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试花生品种为湘花 9760;供试肥料为生物有机肥(N+P₂O₅+K₂O 含量≥5%,有机质含量≥45%,岳阳农博生物科技有限公司生产);三元复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15,湖南隆科肥业

收稿日期:2021-02-22

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0201009)。

作者简介:张 敏(1970—),女,湖南桃江人,农艺师,主要从事农业技术推广和作物栽培研究。E-mail:2481454317@qq.com。

通信作者:兰时乐,硕士,副教授,主要从事微生物资源开发利用研究,E-mail:875540378@qq.com;李 林,博士,教授,主要从事花生栽培研究,E-mail:lilindw@163.com。

有限公司生产)。

1.2 主要仪器与设备

DH101 电热恒温干燥箱(天津中环实验电炉有限公司)、SPAD-502 叶绿素仪(浙江托普云农科技股份有限公司)、MDF-U74V 超低温冰箱[松下电器(中国)有限公司]、UV-1750 紫外分光光度计(上海捷辰仪器有限公司)、FP6410 火焰分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)、Kjeltec 2100 凯式定氮仪、Thermo LYNX6000 超低温冷冻离心机(上海纳锘实业有限公司)、SQP 分析天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]。

1.3 主要药品

$K_2Cr_2O_7$ 、 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 、NaOH、HCl、 $CaCO_3$ 、EDTA-2Na、 H_2SO_4 、 H_3BO_3 、 $KMnO_4$ 、 K_2SO_4 、 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 、 $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2$ 、 $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ 、

KH_2PO_4 、 CH_3CH_2OH 、KCl、 $NH_4H_2PO_4$ 、 CH_3COONH_4 、 $NH_3 \cdot H_2O$ (分析纯,国药集团化学试剂有限公司);邻啡罗啉指示剂(分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司);萘酚绿 B、甲基红、溴甲酚绿、还原铁粉、硒粉、2,4-二硝基苯酚、锌粉、阿拉伯树胶粉(国药集团化学试剂有限公司);左旋抗坏血酸(西安千叶草生物科技有限公司)。

1.4 试验地概况

供试地点为湖南农业大学耘园基地试验田,试验土壤类型为第四纪红土发育的水稻土,肥力较好,偏黏性。试验地点处于亚热带季风湿润气候区,温和湿润。全年平均气温约为 $18.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温出现在 1 月,气温平均值约为 $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高气温出现在 7 月,气温平均值约为 $29.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验田土壤基本理化性质见表 1。

表 1 试验土壤基本理化性质

pH 值	有机质含量 (g/kg)	总氮含量 (g/kg)	总磷含量 (g/kg)	总钾含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
6.15	21.74	0.71	0.67	6.91	49.54	105.37	265.12

1.5 试验设计

试验采用大田小区试验,小区面积 20 m^2 ,垄高为 $15\sim 20\text{ cm}$,垄宽为 $85\sim 90\text{ cm}$,垄长为 5 m ,垄上播 2 行花生,每穴播种 1 粒,重复 3 次,随机排列。试验共设 7 个处理:CK(不施肥)、H(100% 化肥)、I(80% 化肥+20% 有机肥)、J(60% 化肥+40% 有机肥)、K(40% 化肥+60% 有机肥)、L(20% 化肥+80% 有机肥)、M(100% 有机肥)。化肥施用量为 600 kg/hm^2 ,有机肥施用量为 $15\ 000\text{ kg/hm}^2$ 。肥料按试验方案于花生种植前一次性施入。试验期间按花生生产方法进行日常管理。

1.6 样品的采集与处理

将每个小区分为 5 垄,每垄种植花生 100 株。其中 3 垄作为定点标记观测区,共 300 株,标记 6 株(每垄标记 2 株),每次观测尽量不碰触定点标记植株,标记株的前后均应有不取样的单株 2 株以上作为微环境保持区;2 垄作为完整测产区和品质分析区,共 200 株。

1.7 测定项目与方法

叶绿素含量的测定:用 SPAD-502 叶绿素测定仪分别测定花生各生育期主茎倒 3 叶片的叶绿素含量。

主要农艺性状测定:测定花生植株主茎高度、

第 1 侧枝长,并计数植株总分支数。

干物质积累量及分配:将花生地上部分于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min,然后 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,用分析天平称量花生各部分干物质质量。计算根冠比^[9]、生殖器官干物质质量/营养器官干物质质量 $(R/V)^{[10]}$ 、收获指数^[11]。

植株保护酶活力及丙二醛(MDA)含量测定:于花生各生育期采集花生主茎倒 3 叶叶片,迅速置于液氮中,带回实验室后于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱内保存,按照南京建成生物工程研究所生产的过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和丙二醛试剂盒说明书分别测定 CAT、SOD、POD 活性及 MDA 含量。

花生经济性状测定:于花生成熟期每小区分别取 20 株生长良好的花生植株,带回实验室后,摘果,于晴天晒至恒质量后称质量,计数单株总果、饱果、秕果、芽、烂、空果数;称量单株饱果质量、单株秕果质量、单株饱仁质量、单株秕仁质量,并计算单株荚果产量、百果质量、百仁质量、果仁饱和度、出仁率、饱果数率、饱果质量率,并分小区计算产量。

1.8 数据处理方法

数据采用 Excel 2010 进行常规计算处理,不同处理间的试验数据采用 SPSS 25.0 软件进行方差分

析和多重比较,试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同处理对花生叶片叶绿素 SPAD 值变化的影响

植物体内的叶绿素是植物进行光合作用的重要物质,其含量的高低直接影响光合作用的强度,并且直观反映叶片营养状况以及衰老程度。不同处理各生育期花生叶片叶绿素 SPAD 值见表 2。

由表 2 可知,同一处理随着花生生育期的推进,叶片中叶绿素 SPAD 值大体呈先升后降的趋势。花生苗期,随着生物有机肥施用量的增加,叶绿素

SPAD 值随之升高,M 处理组叶片中叶绿素 SPAD 值最高,较对照组和纯化肥组(H)分别提高 25.74%、22.07%,说明减施化肥配施生物有机肥能有效提高花生叶片中叶绿素含量。花生花针期,除 K 处理外,其他各处理组叶绿素 SPAD 值均低于对照组,其中以 J 处理组叶绿素 SPAD 值最低,为 39.80。花生结荚期,各处理叶绿素 SPAD 值均高于对照组,其中以 I 处理组叶绿素 SPAD 值最高,为 46.86。花生成熟期,除 H 处理组外,其他各处理组叶绿素 SPAD 值均高于对照组,以 J 处理组最高,较对照组和纯化肥组(H)分别提高 3.29% 和 4.19%,研究结果与王红丽等的研究结果^[12]相似。

表 2 不同生育期花生叶片叶绿素 SPAD 值

处理	SPAD 值			
	苗期	花针期	结荚期	成熟期
CK	35.63 ± 2.12c	41.20 ± 1.00a	44.17 ± 0.85c	41.66 ± 0.32a
H	36.70 ± 3.10c	41.13 ± 1.10a	44.37 ± 0.40c	41.30 ± 1.22a
I	40.20 ± 0.26b	40.63 ± 0.97a	46.86 ± 0.80a	42.90 ± 1.73a
J	40.60 ± 2.25b	39.80 ± 2.03a	45.90 ± 1.21ab	43.03 ± 1.00a
K	41.33 ± 1.59ab	41.37 ± 0.95a	46.03 ± 0.95ab	42.17 ± 1.36a
L	43.50 ± 1.21ab	40.73 ± 1.41a	45.23 ± 0.72b	41.67 ± 1.50a
M	44.80 ± 3.56a	40.53 ± 1.53a	46.03 ± 0.95ab	42.60 ± 1.76a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3 至表 10 同。

2.2 不同处理对花生主要农艺性状的影响

由表 3 可知,除 I 处理组成熟期分枝数外,其他各处理组的主茎高、侧枝长和分枝数均高于对照组和 H 组,说明减施化肥配施生物有机肥能促进花生的生长,与张欣昕等的研究结果^[13]一致。花生苗期主茎高最大的是 M 处理组,较对照组、H 组分别提高 25.12%、28.60%,侧枝长最大的是 L 处理组,较对照组、H 组分别提高 71.29%、67.13%,分枝数最大的是 K 处理组,较对照组、纯化肥组分别提高 28.12%、23.30%;花针期主茎高和侧枝长最大的是 M 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 19.51%、12.04% 和 29.66%、18.66%,而分枝数最大的是 J 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 25.15%、24.39%;花生结荚期主茎高和侧枝长最大的是 L 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 13.78%、19.20% 和 15.48%、18.61%,分枝数最大的是 J 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 20.31%、12.28%;成熟期主茎高和侧枝长最大的是 L 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 17.27%、19.52% 和 19.89%、21.30%,而

分枝数最大的是 M 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 14.06%、25.47%。各处理组在不同生育期出现分枝数不同的现象,主要原因是取样误差所致。

2.3 不同处理对花生干物质积累及分配的影响

由表 4 可知,花生苗期根、茎、叶及生物总量均随生物有机肥施用量的增加呈现先升后降的变化趋势。各处理干物质积累量和生物总量均高于对照组、纯化肥处理组,其中,K 处理组根干物质积累量最大,较对照、纯化肥处理组分别提高 48.00%、32.14%,L 处理组的茎、叶干物质积累量、生物总量最高,较对照组和纯化肥处理组分别提高 60.95%、39.67%、85.03%、47.86% 和 72.96%、43.23%,说明施用适量的生物有机肥有助于花生苗期植株各器官干物质的积累。而苗期花生根冠比以 CK 组最高,随化肥使用量比例的减少而降低,说明施用适量的生物有机肥会促进花生苗期将干物质质量转移至地上营养器官部分。

花针期各指标的变化趋势与苗期各指标的变化趋势基本一致。K 处理组的根、茎干物质积累量

表 3 主要农艺性状

处理	苗期			花针期		
	主茎高 (cm)	侧枝长 (cm)	分枝数 (个)	主茎高 (cm)	侧枝长 (cm)	分枝数 (个)
CK	14.77 ± 2.37a	10.45 ± 0.93b	7.93 ± 0.31c	38.69 ± 4.39a	36.58 ± 2.61a	8.15 ± 0.13a
H	14.37 ± 1.88a	10.71 ± 1.97b	8.24 ± 0.21c	41.27 ± 4.82a	39.97 ± 3.02a	8.20 ± 0.53a
I	16.00 ± 1.89a	12.99 ± 1.43ab	8.59 ± 0.25c	44.07 ± 6.17a	42.82 ± 7.07a	8.80 ± 0.53a
J	15.48 ± 2.35a	12.95 ± 3.18ab	9.13 ± 0.72abc	41.22 ± 11.08a	40.38 ± 9.82a	10.20 ± 1.73a
K	17.17 ± 0.75a	14.85 ± 0.83ab	10.16 ± 0.29a	43.07 ± 6.78a	43.95 ± 5.65a	9.18 ± 1.41a
L	16.25 ± 0.67a	17.90 ± 5.31a	8.83 ± 0.83bc	41.99 ± 7.79a	43.77 ± 6.44a	7.73 ± 2.37a
M	18.48 ± 3.83a	14.84 ± 2.44ab	9.94 ± 1.35ab	46.24 ± 4.39a	47.43 ± 4.91a	9.68 ± 1.24a

处理	结荚期			成熟期		
	主茎高 (cm)	侧枝长 (cm)	分枝数 (个)	主茎高 (cm)	侧枝长 (cm)	分枝数 (个)
CK	49.77 ± 4.82a	50.72 ± 5.31a	7.83 ± 0.29c	51.59 ± 4.78ab	51.49 ± 4.21b	8.25 ± 0.66ab
H	47.51 ± 3.05a	49.38 ± 3.37a	8.39 ± 0.24ab	50.62 ± 3.96b	50.89 ± 3.96b	7.50 ± 1.39b
I	52.88 ± 8.38a	52.15 ± 8.40a	8.50 ± 0.23ab	55.83 ± 5.29ab	56.65 ± 4.80ab	8.00 ± 0.25b
J	53.34 ± 5.78a	54.73 ± 5.60a	9.42 ± 0.29a	58.38 ± 6.00ab	56.50 ± 5.20ab	8.38 ± 0.10ab
K	54.25 ± 3.04a	56.04 ± 3.89a	9.31 ± 0.57a	58.94 ± 4.98ab	57.31 ± 3.54ab	8.77 ± 0.46ab
L	56.63 ± 5.92a	58.57 ± 4.53a	9.25 ± 0.75a	60.50 ± 1.90a	61.73 ± 2.81a	8.83 ± 0.52ab
M	54.56 ± 5.04a	53.71 ± 5.53a	8.75 ± 1.64ab	54.58 ± 6.50ab	56.70 ± 2.76ab	9.41 ± 0.72a

最大,较对照组分别提高 34.44%、62.44%,但根干物质积累量各处理组之间与对照组差异不显著 ($P>0.05$);J 处理组的叶干物质积累量、果干物质积累量、生物总量、R/V、收获指数较大,较对照组分别提高 36.32%、36.95%、40.91%、7.37%、6.54%,此时各处理间根冠比差距与苗期相比缩小。

花针期至结荚期是花生的生长旺盛期,茎叶增加,荚果发育,花生植株生物总量大幅度增加。结荚期各指标呈现出苗期和花针期同样的变化趋势,但指标最高点有差异。根、茎、叶干物质积累量均高于纯化肥处理组,其中以 L 处理组为最高,而果干物质积累量和生物总量以 K 处理组最高;花生结荚期的 R/V 和收获指数大幅度增加,说明花生生长后期植株光合产物不断向地下部转移,形成经济产量,且结果显示随化肥施用量比例的减少呈现先升后降的趋势,最大的是 J 处理组,分别为 69.20%、40.78%,说明化肥减施配施生物有机肥可以促进花生干物质积累以及促进将光合产物分配至荚果,进而提高花生产量。

成熟期植株各部分器官干物质积累量除根外最高的是 M 处理组。原因可能为生物有机肥养分释放慢,肥效长,能够供给作物后期生长充足的营养,进而导致花生生长后期营养生长较为旺盛。收获指数最高的为 K 处理组,其次是 I 处理组。

2.4 不同处理对花生植株保护酶活性及 MDA 含量的影响

2.4.1 不同处理对 SOD 活性的影响 由表 5 可知,不同处理对花生叶片中 SOD 活性的影响较大,除苗期外,各处理花针期、结荚期叶片中的 SOD 活性均高于对照组和纯化肥组。苗期叶片中 SOD 活性最高的是 J 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 47.26%、74.15%;花针期叶片中 SOD 活性最高的是 L 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 104.75%、88.43%;结荚期叶片中 SOD 活性最高的是 I 处理组,较对照组和纯化肥组分别提高 25.48%、17.88%;成熟期叶片中 SOD 活性最高的是 J 处理组。说明减施适量的化肥并配施生物有机肥,有利于提高植株叶片中 SOD 活性,从而避免叶片中过多的积累 $O_2^- \cdot$ 对植物造成的氧化损伤。

2.4.2 不同处理对 POD 活性的影响 作为植物逆境条件下酶促防御系统的重要关键酶,POD 能够分解活性氧及因自由基氧化而产生的过氧化氢和过氧化物,消除 $O_2^- \cdot$ 、羟自由基 ($\cdot OH$) 等对细胞的伤害,可以作为衡量植株衰老的一种生理指标。不同处理叶片中 POD 活性测定结果见表 6。

由表 6 可知,同一处理不同生育期叶片中 POD 活性呈先降后升的变化趋势。苗期除 J 处理组 POD 活性略高于对照组外,其他各处理组均低于对照组

表 4 不同处理各生育期干物质的积累及分配结果

处理	苗期							
	根(g)	茎(g)	叶(g)	生物总量(g)	根冠比(%)			
CK	0.25 ± 0.03a	1.05 ± 0.14c	1.87 ± 0.10d	3.18 ± 0.15d	8.57 ± 1.00a			
H	0.28 ± 0.03a	1.21 ± 0.06bc	2.34 ± 0.32cd	3.84 ± 0.36cd	8.02 ± 0.53ab			
I	0.29 ± 0.11a	1.34 ± 0.14abc	2.62 ± 0.13bc	4.25 ± 0.34bcd	7.35 ± 2.25ab			
J	0.32 ± 0.11a	1.53 ± 0.32ab	2.98 ± 0.76abc	4.83 ± 1.17abc	7.08 ± 0.90ab			
K	0.37 ± 0.06a	1.67 ± 0.12a	3.23 ± 0.10ab	5.26 ± 0.20ab	7.50 ± 1.29ab			
L	0.35 ± 0.04a	1.69 ± 0.27a	3.46 ± 0.41a	5.50 ± 0.68a	6.90 ± 1.26ab			
M	0.29 ± 0.08a	1.65 ± 0.07a	3.27 ± 0.39ab	5.21 ± 0.53ab	5.80 ± 1.01b			

处理	花针期							
	根(g)	茎(g)	叶(g)	果(g)	生物总量(g)	根冠比(%)	R/V(%)	收获指数(%)
CK	0.90 ± 0.18a	9.08 ± 1.42b	9.14 ± 0.70c	2.49 ± 0.17c	21.61 ± 2.13b	4.34 ± 0.54a	13.17 ± 2.04ab	11.62 ± 1.61ab
H	1.21 ± 0.19a	10.39 ± 1.54ab	13.21 ± 1.63ab	4.06 ± 0.86a	28.87 ± 1.15a	4.37 ± 0.73a	16.49 ± 4.10a	14.09 ± 2.98a
I	1.11 ± 0.12a	11.74 ± 0.91ab	14.50 ± 2.75a	3.11 ± 0.33bc	30.46 ± 3.96a	3.80 ± 0.59a	11.41 ± 0.40b	10.24 ± 0.32b
J	1.05 ± 0.04a	12.50 ± 1.75ab	12.46 ± 1.56abc	3.41 ± 0.36ab	30.45 ± 2.03a	3.97 ± 0.43a	14.14 ± 1.49ab	12.38 ± 1.15ab
K	1.21 ± 0.20a	14.75 ± 1.88a	12.16 ± 1.84abc	3.38 ± 0.43ab	30.38 ± 3.28a	4.17 ± 0.70a	12.55 ± 1.29ab	12.19 ± 1.90ab
L	0.95 ± 0.40a	14.44 ± 0.78a	11.04 ± 1.87bc	3.38 ± 0.21ab	27.68 ± 3.18a	3.41 ± 1.00a	13.91 ± 2.49ab	11.15 ± 1.01ab
M	1.05 ± 0.20a	11.32 ± 5.19ab	10.71 ± 1.38bc	2.81 ± 0.05bc	28.11 ± 4.33a	3.57 ± 0.61a	10.21 ± 0.97b	9.26 ± 0.80b

处理	结荚期							
	根(g)	茎(g)	叶(g)	果(g)	生物总量(g)	根冠比(%)	R/V(%)	收获指数(%)
CK	1.30 ± 0.48a	12.92 ± 2.38b	14.66 ± 2.57ab	18.31 ± 3.72abc	47.19 ± 8.94ab	2.78 ± 0.51a	63.28 ± 3.40a	38.74 ± 1.28a
H	1.21 ± 0.29a	12.62 ± 1.73b	10.96 ± 1.35b	15.48 ± 3.69a	40.27 ± 5.43b	3.08 ± 0.49a	62.16 ± 10.99a	38.14 ± 4.21a
I	1.50 ± 0.15a	14.90 ± 1.76ab	15.74 ± 4.46ab	20.18 ± 2.53abc	52.32 ± 7.56ab	2.97 ± 0.23a	64.03 ± 11.38a	38.83 ± 4.36a
J	1.46 ± 0.32a	17.85 ± 3.53ab	12.46 ± 2.24ab	22.00 ± 3.27ab	53.77 ± 4.26ab	2.78 ± 0.47a	69.20 ± 9.46a	40.78 ± 3.27a
K	1.58 ± 0.48a	16.98 ± 2.84a	16.62 ± 2.24a	23.59 ± 3.81a	58.77 ± 9.21a	2.72 ± 0.46a	67.03 ± 1.57a	40.13 ± 0.57a
L	1.62 ± 0.34a	19.01 ± 3.45a	16.84 ± 3.43a	17.14 ± 2.17bc	54.60 ± 9.01ab	3.05 ± 0.45a	46.14 ± 4.44b	31.53 ± 2.05b
M	1.52 ± 0.08a	18.05 ± 3.78a	16.74 ± 2.09a	20.05 ± 2.70abc	56.36 ± 8.06a	2.79 ± 0.28a	55.46 ± 4.68ab	35.63 ± 1.91ab

处理	成熟期							
	根(g)	茎(g)	叶(g)	果(g)	生物总量(g)	根冠比(%)	R/V(%)	收获指数(%)
CK	0.96 ± 0.28a	10.89 ± 0.83c	10.75 ± 0.48a	25.12 ± 3.93a	47.72 ± 4.78c	2.05 ± 0.78a	111.15 ± 13.07a	50.36 ± 2.73a
H	1.24 ± 0.19a	11.94 ± 0.81bc	14.27 ± 1.58a	28.69 ± 5.38a	56.14 ± 5.19bc	2.25 ± 0.17a	105.37 ± 23.00a	50.87 ± 5.87a
I	1.02 ± 0.35a	13.96 ± 0.76abc	13.87 ± 3.08a	31.60 ± 3.75a	60.45 ± 3.29abc	1.71 ± 0.56a	112.10 ± 27.98a	52.31 ± 6.15a
J	1.05 ± 0.30a	14.77 ± 2.90abc	13.30 ± 2.23a	29.40 ± 6.57a	58.52 ± 9.61abc	1.85 ± 0.51a	101.73 ± 23.40a	50.01 ± 5.45a
K	1.30 ± 0.14a	15.95 ± 4.07ab	14.66 ± 1.68a	37.46 ± 9.80a	69.36 ± 10.74ab	1.91 ± 0.13a	118.15 ± 30.70a	53.55 ± 6.51a
L	1.12 ± 0.39a	15.78 ± 2.33ab	15.53 ± 4.28a	28.09 ± 7.67a	60.53 ± 13.65abc	1.85 ± 0.28a	85.93 ± 9.90a	46.12 ± 2.79a
M	1.23 ± 0.41a	18.27 ± 2.69a	15.96 ± 4.67a	37.83 ± 0.79a	73.28 ± 8.11a	1.69 ± 0.42a	109.27 ± 18.87a	51.95 ± 4.48a

和纯化肥组;花针期 I 处理组 POD 活性高于对照组,但差异不显著($P>0.05$),除 K 处理组外,其他各处理组 POD 活性均高于纯化肥组;结荚期 I 处理组 POD 活性最高,较对照组和纯化肥组分别提高 24.75%、40.00%;成熟期叶片中 POD 活性较结荚期大幅度提高,最高的是 J 处理组,为 22.06 U/mg,说明适量的减施化肥配施生物有机肥,可以延缓花生植株的衰老,及时有效地将 SOD 歧化反应生成的

H₂O₂ 降解为 H₂O 和 O₂。

2.4.3 不同处理对 CAT 活性的影响 由表 7 可知,随着花生生育期的推进,叶片中 CAT 活性总体呈下降趋势。苗期各处理组叶片中 CAT 活性均高于对照组,但低于纯化肥组,其中 CAT 活性最高的是 K 处理组,较对照组提高 1 024.19;花针期各处理叶片中 CAT 活性均低于对照组而高于纯化肥组,但各处理间差异不显著,其中活性最高的是 I 处理

表 5 不同处理对花生叶片 SOD 活性的影响

处理	SOD 活性(U/mg)			
	苗期	花针期	结荚期	成熟期
CK	18.07 ± 4.24abc	3.58 ± 1.25b	3.10 ± 1.20a	8.24 ± 4.15ab
H	15.28 ± 6.79bc	3.89 ± 1.22b	3.30 ± 0.52a	4.68 ± 0.45b
I	15.59 ± 2.65bc	7.10 ± 1.75a	3.89 ± 1.00a	8.03 ± 1.81ab
J	26.61 ± 7.11a	6.25 ± 0.63ab	3.71 ± 0.26a	16.40 ± 7.78a
K	9.59 ± 2.05c	5.51 ± 2.40ab	3.37 ± 1.42a	9.23 ± 0.70ab
L	17.77 ± 5.75abc	7.33 ± 0.78a	3.65 ± 1.08a	7.78 ± 1.00ab
M	21.79 ± 7.16ab	5.92 ± 1.57ab	3.38 ± 0.61a	14.37 ± 7.99a

表 6 不同处理对花生叶片 POD 活性的影响

处理	POD 活性(U/mg)			
	苗期	花针期	结荚期	成熟期
CK	36.26 ± 4.82a	6.36 ± 2.24a	3.03 ± 1.15a	8.50 ± 0.50bc
H	41.39 ± 15.08a	4.88 ± 0.85ab	2.70 ± 0.62a	3.69 ± 0.65b
I	31.43 ± 4.48a	6.77 ± 3.09a	3.78 ± 1.70a	5.65 ± 0.84bc
J	36.98 ± 3.99a	5.04 ± 1.74ab	3.36 ± 0.40a	22.06 ± 13.51a
K	33.03 ± 9.38a	1.80 ± 1.52b	3.02 ± 1.03a	9.96 ± 0.52bc
L	30.18 ± 6.90a	6.12 ± 1.25a	3.55 ± 0.37a	8.07 ± 0.52bc
M	30.45 ± 13.68a	5.83 ± 1.38a	3.38 ± 0.30a	15.56 ± 8.12ab

表 7 不同处理对花生叶片 CAT 活性的影响

处理	CAT 活性(U/mg)			
	苗期	花针期	结荚期	成熟期
CK	0.62 ± 0.51c	0.73 ± 0.63a	0.66 ± 0.09b	0.41 ± 0.08c
H	10.53 ± 4.05a	0.34 ± 0.10a	0.66 ± 0.19b	0.57 ± 0.18c
I	3.44 ± 0.23bc	0.52 ± 0.29a	0.98 ± 0.58b	1.01 ± 0.15b
J	4.45 ± 0.83b	0.39 ± 0.11a	1.92 ± 0.39a	0.56 ± 0.33c
K	6.97 ± 2.14b	0.42 ± 0.10a	0.79 ± 0.32b	0.23 ± 0.12d
L	3.87 ± 0.77bc	0.43 ± 0.23a	0.70 ± 0.15b	0.53 ± 0.32c
M	4.99 ± 1.04b	0.40 ± 0.13a	0.40 ± 0.31b	2.14 ± 1.43a

组,较化肥处理组提高 52.94% ;结荚期除 M 处理组外,其他各处理组叶片中 CAT 活性均高于对照组和纯化肥组,其中最高的是 J 处理组;成熟期 K 处理组 CAT 活性最低,M 处理组 CAT 活性最高,较对照和纯化肥组分别提高 421.95%、275.44%。说明适量减少化肥施用并配施生物有机肥能提高花生不同生育期叶片中 CAT 活性,避免因 H₂O₂ 等的积累对花生植株造成氧化伤害。本研究结果与余高等的研究结果^[14]一致。

2.4.4 不同处理对 MDA 含量变化的影响 膜脂过氧化的最终产物为 MDA,毒性很强,可与核酸或蛋白质反应,抑制蛋白质的合成,也可与酶反应,使酶失活。MDA 含量高低不但能体现花生植株生理

代谢的强弱和抗氧化能力,而且能反映植物受逆境伤害的程度^[15-16]。植株中 MDA 含量高,说明花生植株细胞膜质过氧化程度高,细胞膜受到的伤害严重,MDA 含量测定结果见表 8。苗期、花针期各处理组叶片中 MDA 含量与对照组和纯化肥组之间差异不显著($P>0.05$)。苗期各处理叶片中 MDA 含量均低于纯化肥组,花针期、结荚期各处理叶片中 MDA 含量均低于对照组,花针期以 K 处理组 MDA 含量最低;结荚期各处理组均低于对照组,以 J 处理组 MDA 含量最低,较对照组和纯化肥组分别降低 81.82%、50.00% ;成熟期各处理叶片中 MDA 含量均低于对照组和纯生物有机肥组,但高于纯化肥组。原因为对照组和纯生物有机肥组处理在生育

表 8 不同处理对花生叶片 MDA 含量的影响

处理	MDA 含量(U/mg)			
	苗期	花针期	结荚期	成熟期
CK	0.58 ± 0.04a	0.28 ± 0.13a	0.11 ± 0.03a	0.79 ± 0.09b
H	0.79 ± 0.45a	0.16 ± 0.02a	0.04 ± 0.02bc	0.03 ± 0.07e
I	0.54 ± 0.13a	0.21 ± 0.06a	0.07 ± 0.02ab	0.18 ± 0.09c
J	0.61 ± 0.17a	0.20 ± 0.04a	0.02 ± 0.02c	0.32 ± 0.07c
K	0.49 ± 0.15a	0.16 ± 0.06a	0.05 ± 0.01bc	0.07 ± 0.05cd
L	0.57 ± 0.10a	0.24 ± 0.05a	0.06 ± 0.02bc	0.13 ± 0.04cd
M	0.59 ± 0.15a	0.22 ± 0.05a	0.09 ± 0.02c	0.88 ± 0.02a

期的后期,花生生长所需要的氮磷钾等主要营养元素缺乏,导致花生植株过早衰老,从而使花生叶片细胞中 MDA 含量增加。

2.5 不同处理对花生产量及其构成因素的影响

由表 9 可知,不同的化肥减施措施对花生经济性状影响较大。花生单株总荚果数各处理均比对照大,其中以 J 处理组单株总荚果数和饱果数最大,分别达 21.03、10.07 个/株,较对照组和纯化肥组分别提高 18.61%、25.09% 和 4.89%、13.53%;各处理组饱果数率均高于纯化肥处理组,以 J 处理组最

高,分别较对照及单施化肥处理组升高 2.48 百分点、3.65 百分点;饱果质量率以 I 处理组最大,分别较对照组和纯化肥组提高 2.71%、4.24%,且饱果质量率随生物有机肥施用量增加(化肥施用量减少)呈现先升后降的趋势;L 处理组果仁饱和度最高,为 86.17%;烂果率均低于纯化肥处理组。说明适当减少化肥施用量并配施生物有机肥,可以有效地改善花生的经济性状。研究结果与王宁等的研究结果^[17]类似。

表 9 不同处理对花生经济性状的影响

处理	总果数 (个)	饱果数 (个)	秕果数 (个)	烂虫芽果数 (个)	烂果率 (%)	饱果数率 (%)	饱果质量率 (%)	果仁饱和度 (%)	出仁率 (%)
CK	17.73 ± 1.86a	8.05 ± 0.64a	8.71 ± 1.16a	0.97 ± 0.28a	5.47 ± 1.10a	45.40 ± 1.21a	73.90 ± 2.27a	82.93 ± 2.30a	75.26 ± 0.47a
H	20.05 ± 4.96a	8.87 ± 0.65a	9.11 ± 3.67a	2.07 ± 0.83a	10.32 ± 1.96a	44.23 ± 2.01a	72.81 ± 6.29a	84.41 ± 4.19a	74.86 ± 2.88a
I	20.5 ± 2.27a	9.80 ± 1.32a	8.92 ± 1.98a	1.78 ± 0.75a	8.68 ± 4.54a	47.80 ± 3.71a	75.90 ± 3.10a	85.58 ± 0.87a	75.04 ± 1.44a
J	21.03 ± 0.92a	10.07 ± 1.05a	9.68 ± 1.55a	1.28 ± 0.30a	6.09 ± 3.63a	47.88 ± 2.78a	74.81 ± 6.74a	85.75 ± 2.25a	76.30 ± 1.80a
K	19.5 ± 2.57a	8.92 ± 1.94a	8.92 ± 0.78a	1.67 ± 0.59a	8.56 ± 2.72a	45.74 ± 1.27a	72.10 ± 2.31a	83.42 ± 2.21a	75.37 ± 1.61a
L	18.5 ± 4.10a	8.53 ± 3.48a	8.70 ± 2.49a	1.27 ± 0.76a	6.86 ± 1.26a	46.10 ± 1.66a	74.67 ± 4.70a	86.17 ± 1.12a	76.05 ± 0.57a
M	20.8 ± 5.35a	9.55 ± 2.30a	10.03 ± 2.42a	1.22 ± 0.682a	5.86 ± 1.63a	45.91 ± 1.25a	71.42 ± 5.04a	84.63 ± 1.73a	75.93 ± 0.41a

由表 10 可知,不同化肥减施处理对花生产量构成因素的影响不同。各处理的单株荚果产量均高于对照组和纯化肥处理组,其中以 J 处理组最高,较对照组和纯化肥处理组分别提高 16.04%、19.66%,J 处理组百果质量较对照组和纯化肥组分别提高 5.97%、1.16%;K 处理组的百仁质量较对照组和纯化肥组分别提高 5.52%、3.17%,但各处理之间差异不显著。随着有机肥施用量的增加,花生产量呈先增后减的趋势,其中以 J 处理组的小区产量和单位面积产量最高,分别为 10.15 kg/区和 338.31 kg/666.7 m²,单位面积产量分别较纯化肥处理组 and 对照组增产 11.28%、16.65%,差异达到显著水平,但与 K 处理组差异不显著,说明花生种

植过程中减施 40% ~ 60% 的化肥,并配施生物有机肥具有较好的增产效果,同时发现生物有机肥施用量越高,花生生长后期越旺盛,且花生结果数少。主要因为生物有机肥肥效释放缓慢,导致花生营养生长期过长而影响花生的产量因素构成和产量。试验结果与陈平等的研究结果^[18-19]一致。

3 讨论与结论

化肥减施配施生物有机肥可以提高花生叶片叶绿素 SPAD 值,尤其对苗期花生叶绿素 SPAD 值影响最为显著。随着有机肥施用量的增加,花生叶片叶绿素含量增加,比纯化肥组增加了 9.54% ~ 22.07%,比不施肥组(对照组)提高了 12.83% ~

表 10 不同处理对花生产量构成因素的影响

处理	单株荚果产量 (g)	百果质量 (g)	百仁质量 (g)	小区产量 (kg/区)	产量 (kg/667 m ²)	增产率 (%)
CK	26.43 ± 1.41a	215.24 ± 6.12a	86.25 ± 2.30a	8.70 ± 0.27bc	290.02 ± 8.89c	-4.61
H	25.63 ± 2.12a	225.47 ± 10.80a	88.21 ± 3.59a	9.12 ± 0.78bc	304.03 ± 25.91bc	-
I	26.62 ± 4.40a	212.90 ± 5.99a	89.88 ± 1.39a	9.61 ± 1.52b	320.3 ± 50.53b	5.35
J	30.67 ± 6.31a	228.08 ± 5.99a	88.42 ± 2.71a	10.15 ± 0.58a	338.31 ± 19.92a	11.27
K	27.33 ± 5.31a	220.97 ± 12.80a	91.01 ± 4.47a	10.09 ± 1.05a	336.29 ± 34.90a	10.61
L	29.19 ± 1.06a	214.00 ± 15.30a	86.74 ± 2.62a	8.18 ± 0.46bc	272.79 ± 15.38bc	-10.28
M	27.33 ± 5.31a	208.92 ± 13.75a	87.35 ± 3.73a	7.63 ± 1.53c	254.47 ± 51.11c	-16.30

25.74%。花生主茎高、第一侧枝长分别较不施肥组(对照组)提高了 4.81% ~ 25.12%、23.92% ~ 71.29%，较纯化肥组提高了 7.72% ~ 26.51%、20.92% ~ 67.13%。

化肥减施配施生物有机肥可以促进花生植株干物质量的积累,并且有利于花生植株将光合产物分配至荚果。试验表明,试花生植株生物总量随生物有机肥用量比例的增加而增加。当化肥减施 20% ~ 60% 配施生物有机肥时,可以提高 R/V 及收获指数,降低根冠比,促进花生生长后期将光合产物分配至荚果,进而提高花生产量。

化肥减施配施生物有机肥可以提高花生叶片中保护酶的活性,降低叶片中 MDA 含量。试验表明,试验组花生叶片中 SOD、POD、CAT 活性较对照组和纯化肥组提高。表明化肥减施配施生物有机肥,可以有效降低花生植株中 H₂O₂ 和过氧化物等的含量,从而避免了因 H₂O₂ 等的积累对花生植株造成氧化伤害。

试验结果表明,使用生物有机肥替代化肥,花生饱果数、饱果率、单株荚果产量、百仁质量均高于对照组。生物有机肥替代 40% 的化肥,单株荚果产量、单位面积产量较对照组和纯化肥处理组分别提高 16.04%、19.66% 和 16.65%、11.28%。

参考文献:

- [1] 张怡. 中国花生生产布局变动解析[J]. 中国农村经济, 2014(11): 73-82, 95.
- [2] 王瑞元. 我国花生生产、加工及发展情况[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 1-3.
- [3] 朱兆良. 合理使用化肥 充分利用有机肥 发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93.
- [4] 曲均峰. 化肥施用与土壤环境安全效应的研究[J]. 磷肥与复肥, 2010, 25(1): 10-12.

- [5] 赖庆旺, 李茶苟, 黄庆海. 红壤性水稻土无机肥连施与土壤结构特性的研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 168-174.
- [6] 黄志鹏, 吴海宁, 唐秀梅, 等. 化肥减施对花生根际土壤细菌群落结构和多样性的影响[J]. 花生学报, 2020, 49(3): 8-13, 31.
- [7] 余金富. 减施化肥对花生产量和经济效益的影响[J]. 福建稻麦科技, 2020, 38(1): 31-33.
- [8] 李丹娥. 花生化肥减量配施有机肥试验初报[J]. 南方农业, 2018, 12(35): 31-32, 34.
- [9] 夏桂敏, 李永发, 王淑君, 等. 生物炭基肥和调亏灌溉互作对花生根冠比及水分利用效率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2018, 49(3): 315-321.
- [10] 蓝新隆, 唐兆秀, 徐日荣, 等. 花生抗黄 1 号叶面积与干物质积累动态研究[J]. 江西农业学报, 2007, 19(4): 17-19.
- [11] 董钻, 沈秀瑛. 作物栽培学总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 王红丽, 张绪成, 于显枫, 等. 半干旱区氮肥运筹对全膜双垄沟播玉米水肥利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 449-458.
- [13] 张欣欣, 韩晓日, 黄玉茜, 等. 施肥对连作花生植株性状及产量品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(5): 610-613.
- [14] 余高, 陈芬, 谢英荷, 等. 化肥减施、有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(4): 47-53.
- [15] Weismann D, Hartvigsen K, Lauer N, et al. Complement factor H binds malondialdehyde epitopes and protects from oxidative stress[J]. Nature, 2011, 478(7367): 76-81.
- [16] 王华华, 张杨阳, 刘明文. 铝胁迫下一氧化氮对大豆根生长抑制的缓解作用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(18): 122-125.
- [17] 王宁, 南宏宇, 冯克云. 化肥减量配施有机肥对棉田土壤微生物生物量、酶活性和棉花产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 173-181.
- [18] 陈平, 杜青, 周丽, 等. 减量施氮及施肥距离对玉米/大豆套作系统增产节肥的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3247-3256.
- [19] 魏猛, 张爱君, 诸葛玉平, 等. 长期不同施肥对黄潮土区冬小麦产量及土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 304-312.