

冯世鑫,蒋 妮,陈乾平,等. 黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长和品质及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):123-127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.022

黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长和品质 及叶绿素荧光参数的影响

冯世鑫¹, 蒋 妮¹, 陈乾平¹, 唐 辉²

(1. 广西壮族自治区药用植物园, 广西南宁 530023; 2. 中国科学院桂林植物研究所, 广西桂林 541006)

摘要:以盆栽山豆根为材料,探讨黄腐酸钾钼合剂对其生长、叶绿素荧光参数及品质的影响,设置4个施肥水平(135、158、184、202 kg/hm²),以复合肥(N含量15%、P含量15%、K含量15%)450 kg/hm²为对照,测定山豆根的单叶面积、光合色素含量、叶绿素荧光参数、株高、根瘤数量、药材产量及其浸出物、苦参碱、氧化苦参碱的含量。结果表明:(1)黄腐酸钾钼合剂能显著促进山豆根株高和叶片的生长($P < 0.05$),能使根瘤数量增多,施用184 kg/hm²处理药材产量提高47.4%;(2)叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素明显增多;显著提高山豆根叶绿素最大荧光产量(F_m)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 的潜在活性(F_v/F_o)、实际光化学量子产量 $Y(II)$ 、光化学淬灭系数(q_p),而降低非光化学淬灭系数(NPQ)。叶片对光能利用率和光合作用活性得到提高,以T3处理最优。(3)施用黄腐酸钾钼合剂202 kg/hm²可使山豆根的浸出物提高51.3%;苦参碱(除135 kg/hm²处理外)和氧化苦参碱含量显著高于对照。表明,黄腐酸钾钼合剂能促进山豆根植株的生长,增强叶片对光能利用率,提高药材产量;适量的施肥水平有利于活性成分苦参碱和氧化苦参碱的积累;以184 kg/hm²黄腐酸钾钼合剂为宜。

关键词:山豆根;黄腐酸钾钼合剂;生长;叶绿素荧光参数;品质;光合色素

中图分类号:S567.1⁺90.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)15-0123-05

山豆根为豆科植物越南槐(*Sophora tonkinensis* Gagnep.)的根和根茎,别称广豆根,主产于广西壮

族自治区、贵州省。主要活性成分为苦参碱和氧化苦参碱,具有清热解毒、消肿利咽的功效^[1]。临床广泛用于火毒蕴结、咽喉肿痛、肺热咳嗽、烦渴、黄疸、热结便秘等,为治咽要药。现代药理研究表明,山豆根具有抗肿瘤、抗炎、抑菌、保肝、增强免疫、抗心律失常、降血压等药理活性^[2-4]。目前已研制开发出治疗肝炎的针剂、咽喉肿痛的片剂以及抗肿瘤的中成药。随着研究的深入,市场需求量的日益增大,野生山豆根资源濒临枯竭,人工栽培山豆根正

收稿日期:2020-04-03

基金项目:广西科技重大专项(编号:桂科AA17204056-4);有机药材种植与评价研究团队(编号:桂药创2019007);广西中医药适宜技术开发项目(编号:GZSY20-02)。

作者简介:冯世鑫(1966—),男,广西横州人,副研究员,主要从事中药资源保护和利用研究。E-mail:870330655@qq.com。

通信作者:唐 辉,博士,研究员,主要从事植物引种栽培研究。E-mail:th@gxib.cn。

[13]高兆银,胡美姣,朱 敏,等. 采前喷施赤霉素(GA₃)对杧果果实产量、品质和采后贮藏特性的影响[J]. 果树学报,2017,34(6):744-751.

[14]Perez B M H, Osuna E T, Santiago C M D J, et al. Thidiazuron and gibberellic acid on fruit set and growth of partenocarpic and polinized fruits of 'Ataulfo' mangos [J]. Interiencia, 2015, 40(10):677-683.

[15]Khan A S, Shaheen T, Malik A U, et al. Exogenous applications of plant growth regulators influence the reproductive growth of *Citrus sinensis* Osbeck cv. Blood Red [J]. Pakistan Journal of Botany, 2014, 46(1):233-238.

[16]梁春莉,赵 锦,刘孟军. 田间喷施生长调节剂对冬枣胚发育及坐果的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(9):267-269.

[17]刘守阳,汪有科,赵 霞,等. 植物生长调节剂对梨枣节水增产效益的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(12):185-200.

[18]王倩茹,宋 卫,玉山·库尔班,等. 骏枣花期喷施叶面剂(肥)的保花保果效果试验[J]. 山西果树,2015(3):1-3.

[19]吴玉东,赵天义,宁清丽,等. 0.01%芸薹素内酯喷施火龙果增产试验初报[J]. 广西植保,2017,30(1):30-31.

[20]辜夕容,陈 勇,李洪飞,等. 武隆猪腰枣优良单株果实品质的主成分分析及综合评选[J]. 食品科学,2012,33(15):79-82.

[21]Derek F K, Juan V, Ronan G, et al. Selecting apple cultivars for use in ready-to-eat desserts based on multivariate analyses of physico-chemical properties [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 48(2):308-315.

在兴起。

目前,关于山豆根的研究主要集中在种子特性、贮藏、组织培养繁育、药理和药化方面,对植株栽培需肥特性的研究却少见报道。药农没有可参考的施肥标准,为了追求产量而混乱施肥,不但浪费资源,而且会对植物生长、活性成分的积累和土壤的持续利用造成不利影响,所以合理施肥显得尤为紧迫。黄腐酸钾钼合剂是在试验基础上,自主研发出来的新产品,富含黄腐酸钾、黄腐酸钼、氨基酸镁、锌等多种微量元素,是一种速溶的有机无机螯合复合剂。为明确黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长的作用和效果,以盆栽山豆根为材料,探讨其对山豆根植株生长、叶绿素含量、叶绿素荧光参数、产量和生物碱含量的影响,以期为今后山豆根的优质高产栽培提供参考和指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018 年 11 月至 2019 年 12 月进行。用于盆栽的园土为沙质壤土, pH 值为 6.5, 有机质含量 11.83 g/kg, 全氮含量 0.28 g/kg, 碱解氮含量 88.32 mg/kg, 速效磷含量 38.64 mg/kg, 速效钾含量 101.47 mg/kg, 有效钼含量 0.11 mg/kg。黄腐酸钾钼合剂为自主研发。供试验的山豆根为广西产一年生植株。种植盆为市售, 直径为 50 ~ 60 cm, 高 40 cm。

于 2018 年 11 月上旬播种, 将种子分散播种于装满园土的盆中, 每盆 2 ~ 3 粒, 保湿。在 2019 年 4 月初间苗, 留强去弱, 每盆只留下 1 株, 选择大小基本一致的种苗作试验材料。

1.2 试验设计

设置 4 个施肥水平 T1 处理 (135 kg/hm²)、T2 处理 (158 kg/hm²)、T3 处理 (184 kg/hm²)、T4 处理 (202 kg/hm²), 以复合肥 (N 含量 15%、P 含量 15%、K 含量 15%) 450 kg/hm² 为对照。肥料分 4 次施用, 每株每次的肥料用 0.5 L 的水溶解后灌根, 于 4 月中旬开始, 每 15 d 施肥 1 次。每小区 9 盆 (株), 4 次重复。试验在避雨、透光的环境下进行, 其他管理一致。

1.3 性状测定和方法

1.3.1 测定时间 在 2019 年 7 月中旬, 测定叶片的叶绿素含量、叶面积和叶绿素荧光参数; 11 月下旬测量植株高度; 之后挖起, 测定根瘤数量、根产量

和浸出物、苦参碱、氧化苦参碱含量。

1.3.2 测定方法

1.3.2.1 叶绿素含量的测定 在成熟叶片中部, 用打孔器取 10 片 1 cm 的小圆片, 用 80% 丙酮提取, 参照李合生的方法^[5], 测定提取液在波长 440、644、662 nm 下的光密度, 按公式计算出叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量及叶绿素 a/叶绿素 b。

1.3.2.2 叶绿素荧光参数测定 利用便携式调制叶绿素荧光仪 (PAM-2500, 由德国 WALZ 公司生产), 于 7 月 18 日 10:00—12:00, 对植株中上部、外围叶片进行测定。自然光照条件下, 测定稳态荧光 (F) 和光下最大荧光产量 (F_m')。然后, 将叶片暗适应 20 min。开启检测光 [光照度为 0.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 得到叶绿素荧光参数初始荧光 (F_0), 再由饱和脉冲光 [光照度 6 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光照时间 0.8 s] 测得最大荧光 (F_m); 其他参数通过计算得到:

实际光化学效率 $Y(\text{II}) = (F_m' - F)/F_m'$; 暗适应下最大光化学效率 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$;

PS II 的潜在活性 $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$; 光化学淬灭系数 $q_p = (F_m' - F)/(F_m' - F_0)$; 非光化学淬灭系数 $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ 。

1.3.2.3 单叶面积测定 在主蔓上, 取生长点下第 3 节的复叶, 用 Li-3000 叶面积仪测定面积, 取平均数, 即单片复叶的叶面积 (下面简称单叶面积)。每处理取 3 株。

1.3.2.4 株高和产量的测定 用量尺测量植株距离地面的自然高度。用计数器计算植株根部的根瘤菌数量。剪去不能作药用的阳枝, 用天平称取其鲜质量; 再置于 50 °C 的干燥箱中烘干。称取干质量, 得到根产量, 计算出折干率。

1.3.2.5 成分测定 取均样, 切片, 粉碎。参照《中华人民共和国药典》2015 年一部。附录: 浸出物含量用醇溶性浸出物测定法 (通则 2201) 项下的热浸法测定, 用乙醇作溶剂。苦参碱和氧化苦参碱含量参照高效液相色谱法 (通则 0512) 测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理, 用 Duncan's 新复极差法检验分析显著性。

2 结果与分析

2.1 黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长和产量的影响

叶片是植物光合作用的主要器官, 是植株呼吸、营养运输动力之源, 叶面积的大小直接影响光

合产物的多少。由表 1 可知,施用黄腐酸钾钼合剂能显著影响山豆根株高、根瘤数量和单叶面积,总体随着施肥水平的增加而增加,以 T4 或 T3 处理最高。T4 和 T3 处理之间根瘤数量和单叶面积差异不显著,但均显著高于对照和其他处理;而 T4 处理的株高显著高于 T3 处理的株高。药材的折干率和产量也显著高于对照,均随着黄腐酸钾钼合剂使用水平的增加呈抛物线形变化,以 T3 处理最高,T4 次之,各处理间差异显著。T3 处理与对照相比,折干率和产量分别提高 19.7% 和 47.4%。折干率高低反映出山豆根内含干物质质量的多少,与产量和品质都有直接关联。说明适量的黄腐酸钾钼合剂有利于山豆根干物质的积累,提高药材产量。

表 1 施用黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长和产量的影响

处理	株高 (cm)	单叶面积 (cm ²)	根瘤数量 (个/株)	折干率 (%)	产量(干质量) (kg/小区)
T1	75.20d	68.15c	16.00c	25.42d	171.09d
T2	83.50c	81.50b	19.25b	26.42c	192.30c
T3	101.15b	98.18a	28.00a	30.29a	246.30a
T4	110.50a	96.73a	29.50a	28.55b	226.95b
CK	68.25e	63.75d	13.00d	25.31d	167.05e

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 黄腐酸钾钼合剂对山豆根叶片光合色素含量的影响

光合色素是植物光合作用的物质基础。光合色素含量的高低在很大程度上反映了植物的生长状况和叶片的光合能力^[6]。由试验结果(表 2)可知,黄腐酸钾钼合剂可提高山豆根叶片叶绿素 a 和类胡萝卜素含量,随着施肥水平的增加总体呈增加的趋势,以 T4 处理最高,其次为 T3 处理,均显著高于对照和其他处理。叶绿素 a 含量的增加有利于全光照时对红光区光源的吸收和利用,而类胡萝卜素含量的增加起到保护叶片,免受强光伤害的作用。叶绿素 b 含量和叶绿素总量也显著高于对照,随着施肥水平的增加呈先增后减的趋势,以 T3 处理最高,处理间差异达到显著水平。叶绿素 b 含量的增多提高了叶片在光照不足时段(阴天或傍晚)对光的利用;叶绿素总量增多说明植株生长状况比较旺盛,具备高效利用光进行光合作用的潜在能力增强。

2.3 黄腐酸钾钼合剂对山豆根叶绿素荧光参数的影响

在叶绿素荧光参数中, F_m 为最大荧光产量,是

表 2 黄腐酸钾钼合剂对山豆根光合色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素总量 (mg/g)	类胡萝卜素 含量(mg/g)
T1	1.072c	0.133d	1.205d	0.710c
T2	1.164b	0.348c	1.512c	0.693c
T3	1.331a	0.463a	1.810a	0.801b
T4	1.347a	0.387b	1.718b	0.831a
CK	1.047c	0.108e	1.155e	0.689c

光系统 II (PS II) 反应中心处于完全关闭时的荧光产量,表示通过 PS II 的电子传递数量^[7],其数值越大,表明传递给 PS II 的电子越多,最终光合产物也增多; F_v/F_m 指 PS II 最大光化学效率,该值越低说明其光能转换效率越低; F_v/F_o 指 PS II 的潜在活性,其值越大表明 PS II 反应活性越高,光合作用较强。由表 3 可以看出,施用黄腐酸钾钼合剂能显著提高山豆根叶绿素最大荧光产量、PSII 最大光化学效率、PSII 的潜在活性,说明黄腐酸钾钼合剂比对照(复合肥)能更有效地加快光系统电子传递,提高光能转换效率以及光系统反应活性,增强光合作用的能力。

$Y(II)$ 指 PS II 的实际光化学效率,反映 PS II 反应中心的开放程度,表示植物光合作用中电子传递的量子产量,可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标,因此,较高的 $Y(II)$ 值,有利于光能转换效率的提高^[8-9]。光化学淬灭系数(q_p)表示 PS II 反应中心天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,也反映了 PS II 反应中心的开放程度,其值越大,PS II 的电子传递能力越强^[10-11];非光化学淬灭系数(NPQ)越高,表明植物通过耗散过剩光能为热能的比例提高,植物光能利用率下降^[7]。由表 3 得知,施用黄腐酸钾钼合剂处理的实际光化学效率 $Y(II)$ 、 q_p 显著高于对照,而 NPQ 则明显降低。以 T3 处理的 q_p 最优,T4 处理次之,处理间差异显著(T1 和 T2 处理除外)。说明黄腐酸钾钼合剂处理的实际光化学效率和电子传递能力得到了明显的增强和提高,能较好地利用光能,减少转变为热能的比例。也就是说 T3 处理的植株光合能力较强,光能利用率最高,将会促进后端的光合产物增多。

2.4 黄腐酸钾钼合剂对山豆根品质的影响

由表 4 可知,施用黄腐酸钾钼合剂能提高山豆根中浸出物、苦参碱、氧化苦参碱的含量,3 种成分含量的变化随着施肥量的增加各不相同。浸出物含量随着施肥量的增加而增加,以 T4 处理最高,比

表 3 黄腐酸钾钼合剂对山豆根叶绿素荧光参数检测结果

处理	F_o	F_m	F_v/F_m	F_v/F_o	Y(II)	q_P	NPQ
T1	0.548b	3.460c	0.842c	5.314c	0.672d	0.852c	0.335a
T2	0.536c	3.587b	0.851b	5.692b	0.714c	0.881c	0.267b
T3	0.531c	3.839a	0.862a	6.230a	0.801a	0.969a	0.254b
T4	0.562a	3.591b	0.843c	5.390c	0.749b	0.928b	0.234c
CK	0.546b	3.330d	0.836d	5.099d	0.583e	0.762e	0.435a

表 4 黄腐酸钾钼合剂对山豆根品质的测定结果

处理	浸出物含量 (%)	苦参碱含量 (mg/g)	氧化苦参碱含量 (mg/g)
T1	11.9d	0.093c	1.68d
T2	16.46c	0.148b	1.92c
T3	17.73b	0.179a	2.89a
T4	18.20a	0.181a	2.63b
CK	12.03d	0.084c	1.39e

对照提高了 51.29%。苦参碱含量随着施肥量的增加而增加,虽然也是在 T4 处理处达到峰值,但与相邻的 T3 处理对比,差异不显著。反映出 T4 处理的增幅有所降低,在 T3 处理的施肥水平下,也能有效地促进苦参碱的形成,并达到相类似的效果。药材中氧化苦参碱的含量则随着施肥量的增加先增加后减少,以 T3 处理最高,按大小排序为 T3 处理 > T4 处理 > T2 处理 > T1 处理 > CK,各处理间差异达到显著水平。说明黄腐酸钾钼合剂在较高的施肥水平下,有助于山豆根药材浸出物的增多;而适量施肥更有利于苦参碱和氧化苦参碱的积累。

3 结论与讨论

黄腐酸钾钼合剂中含有丰富的黄腐酸,还含有较多的钾、钼、镁和氨基酸等营养元素。有研究表明,黄腐酸能提高植物对微量元素的吸收和运转能力^[12],激发生长素吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA₃)水平增加^[13],加快细胞的分裂和伸长。钾是 60 多种酶的活化剂,能活化植物体内酶^[14],它在维持细胞内物质正常生理活动、调节气孔关闭、促进光合作用、光合产物的运输及蛋白质合成等生理生化功能方面发挥着重要作用^[15]。钼对固氮酶的形成、硝酸还原酶、黄嘌呤脱氢酶、醛氧化酶、亚硫酸盐氧化酶活性的调节起到促进作用^[16];对调控碳、氮、硫及激素代谢过程,促进光合作用及其碳同化产物的分配均起重要的作用^[17-19]。施钼能促进根瘤的形成^[20]。本试验中,施用黄腐酸钾钼合剂能促进山豆根叶绿素含量、叶面积、根瘤菌数量显著增多,提高

产量,与前人的研究结果^[21-22]基本一致。这可能是黄腐酸、钾、钼等元素的功效及其互作的结果,具体的作用机制有待于进一步的研究。

叶绿素荧光动力学技术作为快速、无损伤探究植物光合作用内部变化的“探针”^[23],能充分反映植株在该环境下光合作用的真实行为^[24-25],被广泛应用于植物光合作用的测量中^[26]。不同的氮和钙水平对叶绿素含量和叶绿素荧光参数有不同影响^[27]。在本试验中,施用黄腐酸钾钼合剂后,山豆根叶片的 F_v/F_m 、Y(II) 和 q_P 都有不同程度的提高,均随着施肥量增加呈先增后减的趋势,以 T3 处理最高,而 NPQ 随施肥量的增加明显降低。说明黄腐酸钾钼合剂提高了 PS II 反应中心的能量捕捉效率,增强了光合结构电子传递能力,降低了光合作用中辐射能量的耗散,从而提高了山豆根的光合能力。结果与张朝轩等的研究结果^[28-29]相吻合。光合能力的提高,必然会增加光合产物的积累。

一般来说,肥料是通过植物的根系从土壤中吸收才得以利用,复杂的土壤环境中肥料元素有流失、被固定、抗拮的现象导致失效,肥料的利用率成为人们的关注点。通过研究发现,钾、镁互作可使作物根长、根表面积、根直径及根体积显著增高^[30],促进叶绿素的形成。钼与氮、磷、钾等元素之间存在显著的协同作用^[31],相互间提高各元素的吸收利用率。钼、硼配合能显著提高紫花苜蓿的产量与可溶性糖、叶绿素的含量^[32]。钼与有机肥配合能促进花生的生长发育,促进其产量和品质的提高^[33]。氨基酸与金属离子螯合,能活化金属离子。镁、锌、钼配施能有效提高银杏苗叶生物量和药用品质^[34]。肥料元素的相互促进作用不但提高了肥料元素的利用率,还有效激发了植物机体的活性,促进其生长发育和代谢。黄腐酸钾钼合剂中不但包含黄腐酸,还包含氮、磷、钾、钼、镁、锌、硼等多种肥料元素,由此可推测黄腐酸钾钼合剂之所以能促进山豆根生长和品质的提高,是多种有益元素功能和协同互作的结果,但其作用机制有待于进一步研究。

随着经济的快速发展和全面小康社会的到来,高产优质的产品是社会的需要和农业生产者的追求。肥料是农作物高产的基础,单一施用化肥会引起土壤板结、肥力下降,产品质量也下降。高效、环保的新型肥料是农业科学工作者研究的热点。黄腐酸钾钼合剂是速溶、营养全面的高效复合肥,能促进药材的生长和活性成分的提高。它的推广应用将加快药材生产高效、绿色的步伐。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 2015 版. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 黄建,张鸣杰,邱福铭. 苦参碱抑制大肠癌 HT229 细胞环氧化酶 22 表达的研究[J]. 中国中西医结合杂志,2005,25(3):240-243.
- [3] 丁佩兰. 山豆根和苦参化学成分的比较研究[M]. 上海:复旦大学出版社,2004.
- [4] 杜士明,周本宏,杨光义. 山豆根水提物抗炎作用研究[J]. 中国药房,2008,19(18):1371-1372.
- [5] 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.
- [6] 徐燕,张远彬,乔匀周,等. 光照强度对川西高山红桦幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北林学院学报,2007,22(4):1-4.
- [7] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [8] 贺立红,贺立静,梁红,等. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较[J]. 华南农业大学学报,2006,27(4):43-46.
- [9] 李晓,冯伟,曾晓春,等. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报,2006,26(10):2186-2196.
- [10] 王刚,侍瑞,努尔尼萨,等. 氮磷钾施肥对比对骏枣叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(9):187-194.
- [11] 李馨园,李晶,陈龙涛,等. 播种方式及追肥时期对寒地冬麦旗叶叶绿素荧光参数及产量的影响[J]. 作物杂志,2011(3):16-19.
- [12] Canellas L P, Olivares F L, Aguiar N O, et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture[J]. Scientia Horticulturae, 2015(196):15-27.
- [13] 周霞萍,邓林,韩媛媛,等. 腐殖酸天然植物生长素调节剂[J]. 中国生物防治,2009,22(增刊1):38-39.
- [14] 刘荣乐,金继运,吴荣贵. 我国北方土壤作物系统内钾素平衡及钾肥肥效研究Ⅱ. 主要作物的钾肥增产效果[J]. 土壤肥料,2000(1):9-11.
- [15] 陈昆,刘世琦,张自坤,等. 钾素营养对大蒜生长、光合特性及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):506-512.
- [16] Mendel R R, Hansch R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants[J]. J Exp Bot,2002,53(375):1689-1698.
- [17] Li W X, Wang Z Y, Mi G H, et al. Molybdenum deficiency in winter wheat seedlings as enhanced by freezing temperature[J]. Journal of Plant Nutrition,2001,24(8):1195-1203.
- [18] Deo C, Kothari M L. Effect of modes and levels of molybdenum application on grain yield protein content and nodulation of chickpeagrown on loamy sand soil[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,2002,33(18):2905-2915.
- [19] Zhang M, Hu C X, Zhao X H, et al. Molybdenum improves antioxidant and osmotic - adjustment ability against salt stress in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) [J]. Plant and Soil,2012,355:375-383.
- [20] 谭春燕,朱星陶,陈佳琴,等. 钼肥对净间作大豆农艺性状及产量的影响[J]. 贵州农业科学,2016,44(6):78-82.
- [21] 周燕,王吉庆,任毛飞,等. 基质浇施黄腐酸钾对黄瓜幼苗的影响[J]. 长江蔬菜,2016(12):81-83.
- [22] 王红,李放,宋东涛,等. 叶面喷施黄腐酸钾对夏玉米产量的影响[J]. 山东农业科学,2014,46(8):87-89,92.
- [23] Schreiber U, Bilger W, Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a nondestructive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis[J]. Ecological Studies,1994,100:49-70.
- [24] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.
- [25] 李泽,谭晓风,卢锟,等. 根外追肥对油桐幼苗生长、光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(2):40-44,49.
- [26] 刘中华,彭舜磊,吕秀立. 氮磷添加对考来木光合特性和叶绿素荧光的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):148-154.
- [27] 李中勇,张媛,韩龙慧,等. 氮钙互作对设施栽培油桃叶片光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):893-900.
- [28] 张朝轩,杨天仪,吴淑杭,等. 微生物肥料对土壤生态及葡萄叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 天津农业科学,2011,17(1):92-95.
- [29] 陈娜,王有科,李捷,等. 微生物有机肥对枸杞叶绿素荧光参数的影响[J]. 干旱区研究,2014,31(2):317-321.
- [30] 王千,张淑香,依艳丽. 钾镁水平对番茄苗期生长、根系形态及钾素吸收和生理利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(2):51-66.
- [31] Villora G, Moreno D A, Romero L. Potassium supply influences molybdenum nitrate and nitrate reductase activity in eggplant[J]. Journal of Plant Nutrition,2003,26(3):659-669.
- [32] 沈丽娜,朱进忠,李科,等. 硼钼肥配施对紫花苜蓿生理生化指标及产量的影响[J]. 草原与草坪,2010,30(4):16-21.
- [33] 张翔,毛家伟,司贤宗,等. 不同种类有机肥与钼肥配施对连作花生生长发育及产量、品质的影响[J]. 中国油料作物学报,2014,36(4):489-493.
- [34] 郁万文,曹福亮,吴广亮. 镁、锌、钼配施对银杏苗叶生物量和药用品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(4):981-989.