

有效微生物菌群在农业领域的研究与应用现状

宋朝霞, 曹理, 李国辉 (河南工程学院环境与生物工程学院, 河南郑州 451191)

摘要 农业生产中大量化肥农药的使用导致土壤结构退化、养分锐减、微生物丰度降低、土地生产力低下及水体污染等一系列生态环境问题,严重影响我国生态农业的发展和社会经济的可持续发展。总结近年来有效微生物菌群在种植业、养殖业及污染物处理等相关方面的研究和应用,旨在为生态农业的可持续发展提供参考。

关键词 有效微生物菌群;农业生产;种植业;养殖业;污染治理

中图分类号 S182 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)01-0021-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.01.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Current Status of Research and Application of Effective Microorganisms (EM) in Agriculture

SONG Zhao-xia, CAO Li, LI Guo-hui (College of Environmental and Biological Engineering, Henan University of Engineering, Zhengzhou, Henan 451191)

Abstract The use of a large number of chemical fertilizers and pesticides in agriculture leads to a series of eco-environmental problems, such as soil structure degradation, land nutrient reduction, microbial abundance reduction, low land productivity and water pollution, which seriously affects the development of ecological agriculture and the sustainable development of social economy in China. This paper summarized the research and application of effective microorganisms (EM) in planting, breeding and pollutant treatment in recent years, in order to provide some reference for the sustainable development of ecological agriculture.

Key words Effective microorganisms (EM); Agricultural production; Planting; Breeding; Pollutant treatment

有效微生物(effective microorganisms, EM 菌)是由光合细菌、乳酸菌、酵母菌、放线菌和丝状菌 5 大类 10 个属 80 余种微生物以适当比例组成的混合菌群^[1-3]。其中,光合细菌和乳酸菌起主导作用,其合成能力支撑着其他微生物的活动,同时也利用其他微生物产生的代谢产物,形成共生关系。当 EM 菌液状态稳定时,其中包含的各类微生物能够充分发挥各自的功能,在改善动植物生长的生态环境、提高动植物的免疫力、污染治理等方面都发挥积极作用^[4]。该研究主要总结了近年国内外有效微生物菌群在种植业、养殖业和污染治理领域的研究现状,并对其应用前景进行分析,旨在为生态农业的可持续发展提供参考。

1 有效微生物菌群在种植领域的研究和应用

郑扬波等^[3]通过在盆栽重茬土壤中添加适量 EM 菌肥的方法提高连作广藿香根系活力以及叶绿素含量,促进作物生长。该方法还能够促进土壤细菌、放线菌的生长,同时抑制土壤真菌的生长,改善土壤状况;增强土壤脲酶、蔗糖酶以及多酚氧化酶的活性,提高土壤肥力。王志远等^[5]发现连续 4 a 采用有机物料和 EM 菌肥联合施用的桃园土壤中有机质含量及氨氮(NH₄⁺-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、有效钾和树脂磷等养分含量较对照组显著提高。除了在土壤中施用外,适量浓度的 EM 菌液还可以直接对作物种子或苗木进行浸泡处理,从而达到促进种苗生长的目的^[6]。周红艳等^[7]在研究 EM 菌对重金属铅胁迫下沟叶结缕草生长的影响时发现,喷施 EM 菌原露可促进重金属铅胁迫下沟叶结缕草生长,改善叶色,增强植株抗逆性。郭晨^[8]在研究中发现 EM 菌肥相比普通尿素可以显著提高早稻和晚稻产量。

国外学者对 EM 菌液在种植领域的研究也做了大量的工作。Kusznierewicz 等^[9]在研究 EM 菌对苹果中抗氧化活性成分的影响时发现,与施用化肥和合成农药的传统果园相比,施用 EM 菌肥的果园中苹果的抗氧化活性提高将近 2 倍,其中多酚类物质含量提高 34%~54%。Meng 等^[10]研究发现,在集装箱生长系统中,适量 EM 菌剂和生物炭的施用能够显著提高土壤质量,有利于榉树幼苗的生长。Talaat^[11]通过对在不同盐分条件下种植 40 d 的刀豆进行各项指标的分析发现,EM 菌剂的施用能够对刀豆光合器官进行调节,影响内源激素的生物合成以缓解盐分对植物的胁迫危害^[11]。Abd El-Mageed 等^[12]研究发现残硫强化生物炭与 EM 菌剂联用能够显著降低盐渍土壤中辣椒植株内 Na⁺ 和 Cd²⁺ 浓度,同时增加氮、磷、钾、钙、铁、锰、铜和锌的吸收,进而提高辣椒植株的耐盐性,有利于辣椒生长和提高辣椒产量。Podbielska 等^[13]为防止苹果腐烂,采用杀菌剂啉酰菌胺或吡啶醚菌酯对苹果进行处理,并研究了 EM 菌剂对这 2 种农药残留及杀菌效果的影响。研究发现,经过 EM 菌剂处理的试验组中,在最初阶段,2 种杀菌剂的残留量显著降低,之后 EM 菌剂对杀菌剂的分解又表现出显著的抑制作用,并能够保持杀菌剂的活性,增强最终杀菌效果,在杀菌效果上与单独使用杀菌剂时相同^[13]。表明在保证杀菌效果的前提下,EM 菌能够显著降低成熟苹果上两种农药的残留量,降低消费者的健康风险。Nikitin 等^[14]在研究 EM 菌剂对放射性核素 Cs-137 向大麦和生菜 2 种作物地上生物量转移的影响时发现,EM 菌与有机肥或钾肥配合施用除了可提高 2 种作物的产量外,还能够显著减少 137Cs 向大麦生物量转移的幅度,降幅分别达到 50% 和 60%。EM 菌剂能够减少植物吸收 137Cs 归因于 137Cs 的生物可利用形式(可溶和可交换形式)的减少。EM 菌剂和有机肥处理 4 个月后,土壤中 137Cs 的

基金项目 河南省科技攻关计划项目(172102110191)。

作者简介 宋朝霞(1979—),女,山东荣成人,讲师,博士,从事微生物资源开发和生物质资源化研究。

收稿日期 2021-03-30

可溶态分别比对照降低 48% 和 72%^[15]。通过上述研究可以发现,EM 菌剂在种植领域的使用可以提高作物抗逆性,促进作物生长,改善作物品质,提高土壤肥力,降低农药残留,可以认为 EM 菌是实现农业可持续发展的环境友好型技术,具有广阔的应用前景,但目前对 EM 菌的作用机理及其在野外条件下的功效研究较少。

2 有效微生物菌群在养殖领域的研究和应用

EM 菌在养殖领域的应用通常是作为饲料补充剂使用,通过稳定和维持肠道病原菌和腐生菌群之间的微生物平衡来调节动物肠道功能^[16]。例如,Gesek 等^[17]将 EM 菌与食物或水以适当比例混合后,对出生 14 d 的日本鹌鹑进行 30 d 的喂饲后发现,EM 菌的添加改善了鹌鹑消化系统的结构和功能,使动物肠绒毛表面、绒毛高度和宽度、隐窝深度改变,从而增强免疫功能,增大消化吸收表面积。研究认为,EM 菌能够保护肠细胞免受病原体的侵害,并刺激与其他益生菌相似的细胞在肠腺的转化,可用作动物生长促进剂。Laskowska 等^[18]研究发现,在猪饲料中添加 EM-Bokashi 可以激活细胞介导和体液免疫反应,确保 *Th1/Th2* 的平衡,增强免疫过程,保护机体免受感染。Abdel-Aziz 等^[19]在研究 EM 菌作为鱼类营养补充剂的应用中发现,适量 EM 菌剂添加到日粮中对罗非鱼进行喂养能够显著提高罗非鱼的增重率、比生长率、存活率和饲料转化率,使罗非鱼肠周长比、黏膜皱褶长度、上皮内淋巴细胞和杯状细胞呈指数增加,还能够大幅提高罗非鱼抗寄生虫活性。高飞^[20]研究发现,与喂饲干玉米秸秆的陕北白绒山羊(对照组)相比,添加 0.4% EM 菌液的干玉米秸秆饲喂的山羊体质量增加显著,经过 60 d 的饲养后试验组山羊体质量增加 9.20 kg/只,而对照组只增加 4.10 kg/只,说明在饲草资源相对匮乏的秋冬季节,适量添加 EM 菌液可以在畜牧业中推广应用。

除了改善动物肠道功能,提高动物免疫力和促进动物生长外,EM 菌的使用也能够有效改善养殖环境。崔帅等^[1]发现在饲料中添加 200 mg/kg 的 EM 菌可以降低水貂粪便中 NH_3 和 H_2S 气体的含量,减少粪便中总氮(TN)、 NH_4^+-N 和总磷(TP)含量以及亚硝酸盐氮(NO_2^--N)含量。原因可能是因为 EM 菌能提高水貂肠道对蛋白质的吸收,抑制肠道有害菌群利用蛋白质向氨及胺的转化,减少随粪便排出的含氮物质;摄入的 EM 菌在生长代谢过程中能以 NH_3 、 H_2S 作为营养物质,将其转化吸收;同时,EM 菌有一定的固氮作用,可以减少碱性条件下铵态氮的挥发,改善养殖环境。

EM 菌也是水产养殖中常用的改善水质的微生物。例如,周婷婷等^[21]在研究泥蚶与 EM 菌联合净化对虾养殖废水时发现,在 60 L 的对虾养殖废水中投加 510 μL EM 菌与 33 粒泥蚶,废水中氮磷的去除率显著提高。其中,泥蚶通过滤食作用在去除废水中的悬浮物和营养盐的同时,实现自身生物量的增长,其代谢产物被 EM 菌通过复杂的生理生化反应转化或利用,供自身生长繁殖。另外,适宜浓度的 EM 菌在分解和转化水体中残饵、粪便等有机物的同时,还可以加快环境中优良微藻的繁殖,为贝类提供丰富的饵料,促进其健

康生长,最终实现环境中营养物质的合理利用,达到生态、高效净化水质的目的,降低养殖废水的排放。陈爽等^[22]以粉煤灰与活性底泥为主要原料,在确定了最佳铁粉和碳酸钙粉末配比制作粉煤灰陶粒的基础上,用其对 EM 菌进行固定化后,净化模拟水产养殖废水。粉煤灰陶粒单独使用对 TN、TP 的去除率仅为 29.89% 和 20.50%,而与 EM 菌联合作用后 TN、TP 去除率最高可达 93.80% 和 45.35%,充分说明将微生物固定化在粉煤灰陶粒中,能进一步发挥微生物对水体中氮磷的净化作用。

3 有效微生物菌群在污染治理领域的研究和应用

有效微生物菌群在污水处理中也有着广阔的应用前景,它能够净化水质、减轻臭味、减少污水中的污泥含量。何伟等^[23]采用投加 0.005% EM 菌剂与物理溶胞耦合作用于序批式活性污泥法系统,相比于只通过物理溶胞处理的系统,污泥表观产率从 0.52 降至 0.25,减少了 52%,说明适量 EM 菌液的添加能够显著减少污泥的产生量。吕乐等^[24]通过向水体中投加 EM 菌剂的方法快速降低蓝藻生物量(减少 55% 以上),并且 EM 菌剂能够迅速降低水体中的 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、TN 和磷酸盐浓度并维持在较低水平,降低了形成蓝藻水华所需要的氮、磷营养元素,控制了蓝藻水华的进一步发展。但 Dondajewska 等^[25]在使用 EM 菌剂和大麦秸秆对波兰西部蓝藻水华严重的浅水湖进行修复时发现,在为期 5 年(2011—2015 年)的研究中,EM 菌剂的应用可以使水体总有机物过度分解、浮游植物多样性增加,引发生态系统的积极变化,但不足以降低湖泊中营养盐的含量,蓝藻水华仍然存在。可以考虑将 EM 菌剂和其他生物、物理和化学等方法综合使用,以达到理想的处理效果。Rashed 等^[26]在埃及的一个污水处理厂中进行了 EM 菌剂强化生物除磷系统效果的研究,结果表明,加入 EM 菌剂后 COD、BOD 和 TP 的去除率分别达到 93%、93% 和 90%,该方法主要是通过 EM 菌剂的高性能聚磷作用提高除磷效果。陈建发^[27]采用高效微生物菌群强化活性污泥处理抗生素类废水,出水 COD_{Cr} 、 NH_3-N 、TP 的平均去除效率较常规系统分别提高了 3.9%、9.3% 和 4.1%。Safwat^[28]在利用 EM 菌剂改善移动床生物膜反应器处理初沉废水的可行性时发现,在启动一段时间后,与接种活性污泥和 EM 菌剂的反应器相比,只接种活性污泥的反应器中的载体上有较厚的生物膜,在活性污泥中添加 EM 菌对颗粒物化学需氧量(pCOD)和总氮(TAN)的去除率略有提高,但对可溶性化学需氧量(sCOD)的去除率无明显改善。

另外,杨平等^[29]研究发现 EM 菌能够对污水、淤泥中的重金属 Cd^{2+} 进行生物富集,吸附率可达 75.26%;随着 Cd^{2+} 的浓度不断增加,EM 菌吸附重金属离子的能力下降。刘超^[30]利用 EM 菌对活性污泥和秸秆混合物进行发酵处理 40 d 后,活性污泥中 Cr、Pb、As 和 Cu 的含量分别由 45 313.3、72.4、31.3 和 186.9 mg/kg 降至 40.3、25.4、0.5 和 67.6 mg/kg,重金属去除效果非常显著。

在污染土壤的修复方面,EM 菌也有明显的优势。Romeh^[31]在采用车前草与 EM 菌协同净化吡虫啉污染土壤

的研究中发现,在种植车前草的土壤中接种 EM 菌并辅以泥炭藓处理是去除土壤中吸附的吡虫啉最有效的方法。经过 14 d 的处理后,吡虫啉的去除率达到 81.22%,而对照组的去除率仅为 37.30%。

EM 菌剂也可用于提高有机堆肥发酵品质。Fan 等^[32]研究发现,EM 菌的添加对家庭有机废物堆肥化处理有积极作用,EM 菌的添加能够有效抑制堆肥发酵过程中臭味的产生,同时有利于堆肥腐殖化。曲淑岩^[33]使用 EM 菌剂,采用 1% 的接种量处理牛粪堆肥比普通方法直接处理时间更短,效果更好,并且操作简单、快速、高效且无臭,说明 EM 菌剂可以用于大规模工业化生产堆肥。王富强^[34]在研究 EM 菌剂和蚯蚓对城市污泥和木薯渣混合物的处理时发现,单一使用 EM 菌能快速分解有机质,且作用效果优于单一使用蚯蚓的效果;协同处理(80%污泥+20%木薯渣+蚯蚓+EM)分解有机物的能力最强。使用蚯蚓和 EM 菌的协同效应对城市污泥和木薯渣混合物堆沤 28 d,降低了基质 pH、总有机碳(TOC)、TN、C/N 比值和多环芳烃含量,提高了基质电导率和养分的有效性。将基质转化为植物的营养物质,解决了植物毒性污泥的处置问题^[35]。Zhong 等^[36]发现在堆肥腐熟过程中使用 EM 菌剂可以提高腐熟过程的矿化度,改善竹渣堆肥园艺用途的特性,使其可部分替代昂贵且可持续性较差的泥炭作为园艺生长基质来使用。

4 有效微生物菌群在其他领域的研究及应用

EM 菌在食品发酵方面也有应用。Zhang 等^[37]接种 EM 菌剂对大豆进行固态发酵提高了从糖苷到苷元的生物转化率,认为此法可以改善发酵大豆的营养价值。

5 展望

EM 菌在种植业、养殖业及污染物处理等方面均有良好的效果,可以考虑将其应用于农业生产中。施用 EM 菌肥可以改善土壤理化性质,提高土壤微生物丰度,增加土壤养分含量,最终达到提高作物产量和品质的目的。EM 菌作为饲料补充剂应用在养殖业,能够起到调节动物肠道微生物平衡,提高动物免疫力、增强抗病性、促进动物生长的功能;同时,EM 菌还能够减少畜禽粪污臭味,对改善人畜环境具有积极意义;EM 菌应用于水产养殖中可以起到净化水质、促进优良微藻的繁殖,实现环境中营养物质的合理利用。EM 菌添加到堆肥基质中能够有效抑制堆肥发酵过程中臭味的产生,同时有利于堆肥腐殖化。利用 EM 菌发酵农产品可制备高营养价值产品。由此可见,EM 菌在农业生产中的合理应用可以同时实现经济效益、环境效益与社会效益三赢,对改善大量使用化肥农药的传统农业的现状具有重要意义。

参考文献

[1] 崔帅,王光,郑菲菲,等.茶多酚和有效微生物对育成期水貂粪便污染物排放量的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(2):108-112.
[2] 金秋,陈立华,闫少锋.有效微生物技术在城市环境治理领域中的应用[J].环境科技,2015,28(1):70-74.
[3] 郑扬波,李明,张梓豪,等.EM 菌对连作广藿香扦插苗生长特性及土壤微生物生态的影响[J].华南农业大学学报,2019,40(2):60-64.
[4] 汤小朋,陈磊,熊康宁.有效微生物菌群在贵州喀斯特地区农业生产中

的应用前景展望[J].中国农业科技导报,2020,22(4):129-138.
[5] 王志远,张广娜,于军香,等.EM 菌结合有机物料还田对桃园土壤理化性质及桃叶片光合特性的影响[J].生态学杂志,2018,37(9):2657-2662.
[6] 陈若飞.有效微生物技术的特性及其在农业、畜牧业的应用[J].畜牧与饲料科学,2013,34(9):80-81.
[7] 周红艳,朱瑛,陈晓波,等.EM 菌剂对重金属铅胁迫下沟叶结缕草生长和渗透调节物质的影响[J].辽宁农业科学,2016(6):5-8.
[8] 郭晨.缓/控释尿素施用对作物产量、氮肥利用率及温室气体排放的影响[D].武汉:华中农业大学,2018.
[9] KUSZNIEREWICZ B, LEWANDOWSKA A, MARTYSIAK-ŻUROWSKA D, et al. The influence of plant protection by effective microorganisms on the content of bioactive phytochemicals in apples[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2017, 97(12):3937-3947.
[10] MENG L, RAHMAN A, HAN S H, et al. Growth of *Zelkova serrata* seedlings in a containerised production system treated with effective microorganisms and biochar[J]. Journal of tropical forest science, 2018, 30(1):49-57.
[11] TALAAT N B. Effective microorganisms: An innovative tool for inducing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) salt-tolerance by regulating photosynthetic rate and endogenous phytohormones production[J]. Scientia horticulturae, 2019, 250:254-265.
[12] ABD EL-MAGEED T A, RADY M M, TAHA R S, et al. Effects of integrated use of residual sulfur-enhanced biochar with effective microorganisms on soil properties, plant growth and short-term productivity of *Capsicum annuum* under salt stress[J]. Scientia horticulturae, 2020, 261:108930-108938.
[13] POBBIELSKA M, SZPYRKA E, PIECHOWICZ B, et al. Assessment of boscalid and pyraclostrobin disappearance and behavior following application of effective microorganisms on apples[J]. Journal of environmental science and health, part B, 2018, 53(10):652-660.
[14] NIKITIN A N, CHESHYK I A, GUTSEVA G Z, et al. Impact of effective microorganisms on the transfer of radioactive cesium into lettuce and barley biomass[J]. Journal of environmental radioactivity, 2018, 192:491-497.
[15] IIRITI M, SCARAFONI A, PIERCE S, et al. Soil Application of effective microorganisms (EM) maintains leaf photosynthetic efficiency, increases seed yield and quality traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown on different substrates[J]. International journal of molecular sciences, 2019, 20(9):2327-2335.
[16] OHLAND C L, MACNAUGHTON W K. Probiotic bacteria and intestinal epithelial barrier function[J]. American journal of physiology, gastrointestinal and liver physiology, 2010, 298(6):G807-G819.
[17] GESEK M, SOKÓŁ R, LAMBERT B D, et al. Effect of Effective Microorganisms on intestinal morphology and morphometry in Japanese quails[J]. Turkish journal of veterinary and animal sciences, 2018, 42(4):285-291.
[18] LASKOWSKA E, JAROSZ Ł, GRADZKI Z. The effect of feed supplementation with effective microorganisms (EM) on pro-and anti-inflammatory cytokine concentrations in pigs[J]. Research in veterinary science, 2017, 115:244-249.
[19] ABDEL-AZIZ M, BESSAT M, FADEL A, et al. Responses of dietary supplementation of probiotic effective microorganisms (EMs) in *Oreochromis niloticus* on growth, hematological, intestinal histopathological, and antiparasitic activities[J]. Aquaculture international, 2020, 28(3):947-963.
[20] 高飞.微生态制剂饲料饲喂肉羊效果研究[J].河南农业科学,2011,40(10):131-133.
[21] 周婷婷,林志华,张启鹏,等.泥蚌与不同浓度微生态制剂净化养殖废水的研究[J].生物学杂志,2018,35(3):52-56.
[22] 陈爽,王良恺,文涛,等.新型粉煤灰陶粒固定化有效微生物群落对模拟水产养殖废水净化效果[J].浙江农林大学学报,2020,37(4):761-768.
[23] 何伟,吴蓓蕾,黄种买.EM 菌与物理溶胞耦合对 SBR 系统污泥减量研究[J].水处理技术,2016,42(5):60-62.
[24] 吕乐,尹春华,许倩倩,等.环境有效微生物菌剂治理蓝藻水华研究[J].环境科学与技术,2010,33(8):1-5.
[25] DONDAJEWSKA R, KOZAK A, ROSIŃSKA J, et al. Water quality and phytoplankton structure changes under the influence of effective microorganisms (EM) and barley straw-Lake restoration case study[J]. Science of the total environment, 2019, 660:1355-1366.

年生和田玫瑰 ψ 的变化趋势和其他种植年限的日变化趋势相反。说明 3 年生和田玫瑰在光照强度变化时, PS II 的能量分配比率最不稳定, 对外界光照强度的变化最敏感。

当绿色植物暴露在可见光下时, 含叶绿素的组织会发出强度不断改变的红色荧光, 荧光强度随时间的变化不同, 这种不同变化强度形成的曲线称为叶绿素荧光诱导动力学曲线^[25]。在不同玫瑰品种中, 云南玫瑰的荧光强度明显低于和田玫瑰和白玫瑰, 说明云南玫瑰的荧光产量最低, 接受光量子的能量最差, 因此光合碳代谢速率最低^[12]。在不同种植年限的和田玫瑰中, 1 年生和 4 年生和田玫瑰的叶绿素荧光动力学曲线一致, 3 年生和田玫瑰的荧光强度在 I 点和 P 点都明显小于其他年限种植的和田玫瑰, 说明 3 年生和田玫瑰的荧光产量最低, 接受光量子、电子从 Q_A 向 Q_B 的传递量最低^[26]。

4 结论

该试验结果表明, 和田玫瑰比云南玫瑰和白玫瑰更适应和田地区的光照强度和热量水平, 其中 3 年生和田玫瑰对外界光热环境变化更为敏感, PS II 结构更不稳定, 因此易受到光照强度和热量变化的影响。

参考文献

- [1] 陈苒蕾. 新疆三种独尾草属植物光合特性的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2008.
- [2] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochimica et biophysica acta*, 1989, 990(1): 87-92.
- [3] SCHREIBER U, BERRY J A. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in intact leaves correlated with damage of the photosynthetic apparatus [J]. *Planta*, 1977, 136(3): 233-238.
- [4] 赵长明, 王根轩. 干旱胁迫对沙冬青叶片防御光破坏机制的影响[J]. *植物学报*, 2002, 44(11): 1309-1313.
- [5] BAKER N R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis [J]. *Physiologia plantarum*, 1991, 81(4): 563-570.
- [6] 宋春雨, 刘晓水, 金彩霞. 高温胁迫下光合器官受损及其适应机理[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2002, 18(4): 252-256.

- [7] 岳泽伟, 李成道, 李磊, 等. 骆驼刺叶形态和荧光参数对光照的响应[J]. *干旱区研究*, 2020, 37(3): 722-728.
- [8] SAYED O H. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research [J]. *Photosynthetica*, 2003, 41(3): 321-330.
- [9] 张璐, 季巧遇, 吕红. 玫瑰花概述及研究进展[J]. *江西中医药*, 2012, 43(1): 64-66.
- [10] 孙永民. 和田玫瑰种植产业发展现状分析[J]. *新疆农业科技*, 2014(3): 36-37.
- [11] MAXWELL K, JOHNSON G N. Chlorophyll fluorescence - A practical guide [J]. *Journal of experimental botany*, 2000, 51: 659-668.
- [12] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics [J]. *Annual review of plant physiology & plant molecular biology*, 1991, 42(1): 313-349.
- [13] 玉苏甫·阿布都拉, 马宏武, 买买提·阿布都拉, 等. 和田河流域气候变化特征分析[J]. *气象*, 2006, 32(4): 97-100.
- [14] 张海云, 孟宪水, 李凤英. 玫瑰、月季与蔷薇的区别[J]. *花木盆景(花卉园艺)*, 2006(6): 22-23.
- [15] SOFO A, DICHIO B, MONTANARO G, et al. Photosynthetic performance and light response of two olive cultivars under different water and light regimes [J]. *Photosynthetica*, 2009, 47(4): 602-608.
- [16] 李西文, 陈士林. 遮荫下高原濒危药用植物川贝母 (*Fritillaria cirrhosa*) 光合作用和叶绿素荧光特征[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3438-3446.
- [17] 敖金成, 苏文华, 张光飞, 等. 不同光强下对马耳蕨叶绿素荧光参数的日变化[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(1): 135-138.
- [18] 李磊, 李向义, 林丽莎, 等. 两种生境条件下 6 种牧草叶绿素含量及荧光参数的比较[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 672-680.
- [19] 张静, 张元明. 冻融过程对生物结皮中齿肋赤藓叶绿素荧光特性的影响[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(6): 1479-1487.
- [20] 姚春娟, 郭圣茂, 陈兰兰, 等. 草决明叶绿素荧光特性的秋季日变化[J]. *农业与技术*, 2015, 35(20): 27-28.
- [21] 周玉霞, 巨天珍, 王引弟, 等. 3 种旱生植物的叶绿素荧光参数日变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(5): 164-170.
- [22] 贾浩, 郝建博, 曹洪波, 等. 遮荫对“保佳红”桃树叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J]. *西北植物学报*, 2015, 35(9): 1861-1867.
- [23] 高玉, 高志奎, 张晓慧, 等. 通过快速荧光动力学曲线探测白黄瓜光系统 II 的热激胁迫效应[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 3335-3341.
- [24] 杨建伟, 赵丹, 孙桂芳, 等. 干旱胁迫对小紫珠光合生理的影响[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(4): 733-740.
- [25] 李鹏民, 高辉远, STRASSER R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. *植物生理与分子生物学报*, 2005, 31(6): 559-566.
- [26] STRASSER B J, STRASSER R J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-Test [M]/MATHIS P. *Photosynthesis: From light to biosphere*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995: 977-980.

(上接第 23 页)

- [26] RASHED E M, MASSOUD M. The effect of effective microorganisms (EM) on EBPR in modified contact stabilization system [J]. *HBRC journal*, 2015, 11(3): 384-392.
- [27] 陈建发. 高效微生物菌群强化抗生素类废水生物处理研究[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2018, 15(6): 62-67, 95.
- [28] SAFWAT S M. Performance of moving bed biofilm reactor using effective microorganisms [J]. *Journal of cleaner production*, 2018, 185: 723-731.
- [29] 杨平, 李伟朋, 王召欣, 等. EM 菌对镉离子的吸附特性的研究[J]. *枣庄学院学报*, 2013, 30(2): 114-119.
- [30] 刘超. 添加不同量 EM 菌液对城市污水处理厂活性污泥好氧堆肥产品用于矿山修复的影响[J]. *宿州学院学报*, 2017, 32(3): 106-112.
- [31] ROMEH A A. Synergistic use of *Plantago major* and effective microorganisms, EMI to clean up the soil polluted with imidacloprid under laboratory and field condition [J]. *International journal of phytoremediation*, 2020, 22(14): 1515-1523.
- [32] FAN Y V, LEE C T, KLEMES J J, et al. Evaluation of Effective Micro-

- ganisms on home scale organic waste composting [J]. *Journal of environmental management*, 2018, 216: 41-48.
- [33] 曲淑岩. 利用复合微生物菌剂发酵牛粪生产生物有机肥[D]. 长春: 长春工业大学, 2012.
- [34] 王富强. 蚯蚓—微生物协同处理城市污泥的研究[D]. 海口: 海南大学, 2016.
- [35] WANG F Q, WANG H H, LI S N, et al. Effects of earthworms and effective microorganisms on the composting of sewage sludge with cassava dregs in the tropics [J]. *Journal of the air & waste management association*, 2019, 69(6): 710-716.
- [36] ZHONG Z K, BIAN F Y, ZHANG X P. Testing composted bamboo residues with and without added effective microorganisms as a renewable alternative to peat in horticultural production [J]. *Industrial crops and products*, 2018, 112: 602-607.
- [37] ZHANG H C, YU H N. Enhanced biotransformation of soybean isoflavone from glycosides to aglycones using solid-state fermentation of soybean with effective microorganisms (EM) strains [J]. *Journal of food biochemistry*, 2019, 43(4): 12804-12813.