DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2024.03.001

# 激光农业研究进展和展望

于合龙[1, 2], 周雷进雨[1, 2], 徐兴梅[1, 2], 杨明来[1, 2*], Jian ZHANG[3], 姜京池[4, 5], 李卓识[6, 7]

(1. 吉林农业大学信息技术学院,吉林长春,130118; 2. 吉林农业大学智慧农业研究院,吉林长春,130118; 3. 加拿大英属哥伦比亚大学奥肯纳根校区生物系,基洛纳,BC V5K1K5; 4. 哈尔滨工业大学计算学部,黑龙江哈尔滨,150001; 5. 智慧农场技术与系统全国重点实验室,黑龙江哈尔滨,150001; 6. 吉林农业大学植物保护学院,吉林长春,130118; 7. 吉林农业大学食药用菌教育部工程研究中心,吉林长春,130118)

**摘要**:激光作为一种新兴的人造光源,是20世纪以来最伟大的发明之一,具有功率密度高、方向性好和优良的单色性等优点,在农业领域得到了广泛的应用。激光技术在植物生产、动物管理和菌物研究方面展现了显著优势。文章主要对激光技术在农业领域的研究进展和发展动态进行深入剖析。在植物生产方面,介绍了激光技术在植物诱变育种、促进植物生长发育、提高产量和品质、植物保护、植物检测和植物表型中的应用情况。在动物管理方面,主要分析了激光技术在动物遗传育种、动物生长、动物医疗和动物产品检测方面的研究。在菌物研究方面,重点总结激光技术在菌物育种、菌物生长发育及菌物检测和鉴定中的应用详情。最后,针对激光技术与农业生产研究相结合所面临的困难和挑战,从提升激光技术在农业生产管理中的精度和扩展其适用范围角度出发,提出了激光技术在植物生产精准化、动物生产管理优化和菌物生产科学化的发展方向。虽然激光技术在农业领域已经取得了一系列的成果,但在未来的研究中,应探索更多创新应用,并与人工智能和大数据技术相结合,进一步推进激光技术与农业产业的深度融合,以实现更高效、更智能的农业生产管理模式,为现代农业的发展带来更多机遇和突破。

**关键词**:激光技术;农业生产;植物;动物;菌物

**中图分类号**:S123 **文献标识码**:A **文章编号**:2096-7217(2024)03-0001-13

于合龙, 周雷进雨, 徐兴梅, 杨明来, Jian ZHANG, 姜京池, 李卓识. 激光农业研究进展和展望[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(3): 1−13

YU Helong, ZHOU Leijinyu, XU Xingmei, YANG Minglai, Jian ZHANG, JIANG Jingchi, LI Zhuoshi. Advancements and prospects in laser agriculture [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(3): 1−13

## 0 引言

农机装备是《中国制造2025》十大重点领域之一。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出要“加强大中型、智能化、复合型农业机械研发应用”。党的二十大报告提出“强化农业科技和装备支撑”。2024年中央一号文件提出“大力实施农机装备补短板行动”。激光农业包含技术和装备两个方面,技术是支撑,装备是保障。大力发展激光农业对打造农业新质生产力和培育现代农业发展新动能具有重要意义。

生物世界主要由植物、动物和菌物(微生物)所构成。植物生产、动物(包括人)消费、菌物转化还原的循环往复过程是农业活动的实质[1]。光是农业生产过程中的核心要素。具体表现为,光不仅是植物、动物和菌物生存的能量来源,直接影响植物的光合作用和色素的形成,还可通过影响植物及其他环境因素,对动物和菌物产生动态联系影响[2-3]。同时,光在植物、动物和菌物的生长发育过程中起到信号作用,并对其具有一定的刺激作用。

激光(light amplification by stimulated emission of radiation,Laser)是指受激辐射而产生放大的光,是由

收稿日期:2024-07-16 修回日期:2024-07-31

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD200160202);国家重大农业科技项目(NK202302020205);中国工程院院地合作项目(JL2022-08)

第一作者:于合龙,男,1974年生,吉林长春人,博士,教授;研究方向为智慧农业、农业物联网。E-mail: yuhelong@jlau.edu.cn

*通信作者:杨明来,男,1970年生,吉林长春人,博士,研究员;研究方向为激光农业技术及应用。E-mail: yangminglai@163.com

工作物质处于粒子翻转状态的激光器产生的[4]。与普通光相比,其发光的机制与组成发光物质的原子、分子的能量状态的变化有关,但激光具有功率密度高,单色性、相干性及方向性好,所形成脉冲的能量大,峰值功率高,使用成本低等特点[5]。目前,已被广泛应用于工业、医疗、农业、信息等领域[6]。

随着激光技术的不断发展,激光在农业领域的应用已经取得了显著进展,备受关注。国内外大量研究人员以激光技术为研究手段,以植物、动物和菌物为研究对象,开展了大量的试验,并取得了良好的应用效果[7-9]。在植物方面,激光可作为精准的光源,模拟光照条件,促进植物的生长和开花,调节植物的生长节律和产量[10];激光可以用来对植物的病虫害等进行检测,通过扫描和分析植物表面反射光谱,实现提前预警和管理[11];激光技术还可以对植物进行诱变处理,从而获得具有特定优良性状的新品种或新基因型等[12]。在动物方面,激光技术被用于动物的医疗手术,通过精确控制减少了损伤和出血风险[13];激光成像技术能够实时监测动物体内的状况,这对研究药物在动物体内的扩散过程以及不同器官对药物的反应具有重要意义[14];激光技术在提高动物免疫机能[15]和繁育[16]等方面也表现出良好的应用前景。在菌物方面,利用激光技术,能够对菌种进行检测,实现对菌类的快速识别与分类[17];通过激光辐射,可以诱发微生物基因突变,从而选育出具有特定功能、提高产量的微生物品种[18-19];激光技术还可以对食品进行消毒处理,以杀灭或抑制细菌和真菌,从而延长食品的保质期[20]。激光技术能够提高农业生产效率及生产质量,从而更好地满足农业发展的需求。

综上,激光技术已被广泛应用于农业领域,并发挥着越来越大的作用,本文从植物、动物和菌物角度出发,分析和讨论了激光在农业上的发展和应用现状,并对其发展趋势进行展望,旨在为现代农业中激光技术的研究工作提供参考依据。

## 1 激光技术在植物生产中的应用

### 1.1 激光在植物诱变育种中的应用

激光诱变育种作为突变育种的一种方法,使用适当波段和剂量的激光照射植物种子和其他器官,诱发突变,进而在其后代中选择优良变异个体,以实现培育新品种的目的[21]。与传统的辐射诱变和化学诱变相比,激光诱变具有高效、稳定、无污染、当代变异和高选择性等优点[22],因此,在植物育种领域展现出巨大的潜力和优势。

激光诱变发生机理主要涉及光效应、热效应和电磁效应的综合作用[21],这些效应共同作用于植物细胞,导致染色体结构畸变和遗传物质分子改变,使其性状和特性发生变异,进而通过细胞分裂遗传给后代,经过筛选和培育,可得到新的品种[23]。常用的激光器有红宝石、$CO_2$、He-Ne等。

早在20世纪60年代,美国、苏联、澳大利亚、加拿大等国家就开展了激光诱变育种的研究,将蚕豆、萝卜、紫花苜蓿和南瓜种子利用红宝石激光器进行处理,结果表明,激光照射对作物的发芽率和发芽势具有促进作用[24]。我国激光育种的研究是从1972年开始的,四川大学首先对油菜种进行了激光诱变研究,随后,利用激光技术,国内相继培育出了油菜、番茄、黄瓜、菜豆、蚕豆等新品种[25]。陈怡平等[26]对比了单纯He-Ne激光处理、单纯激动素(KT)处理和He-Ne激光与激动素(KT)复合处理对小麦种子的影响,结果表明,3种均能够提高种子活力,其中He-Ne激光处理在促进种子萌发方面表现效果最佳。张建东等[27]探究了不同功率密度和不同时间$CO_2$激光处理对大豆种子萌发及生理的影响,结果表明,不同功率密度激光处理均可以提高淀粉酶活性、种子发芽率、游离氨基酸含量,促进可溶性蛋白质合成,但作用时间存在一定的阈值,超出这一阈值后激光反而会抑制植物的生长。陈震古[28]以杨树为供试材料,用不同剂量的He-Ne和$CO_2$激光照射离体花药、子房、花粉和水培枝雌雄花序等,结果发现20 J/cm$^2$照射剂量是He-Ne激光的有效剂量值。张建民等[29]研究表明,He-Ne激光照射海洋微藻可以增强其生长繁殖能力,提高细胞内叶绿素、蛋白质含量。图1为激光技术在植物育种中的应用。

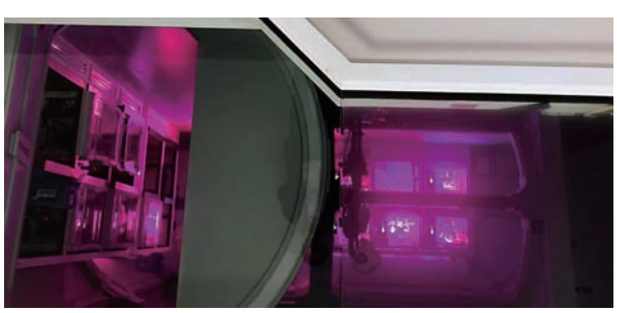


**图1 激光育种仓**

Figure 1 Laser breeding chamber

### 1.2 激光在促进植物生长发育,提高产量和品质中的应用

激光技术能够通过非侵入性和非破坏性的方式改善作物的生长条件。在植物生长过程中,利用激光对其进行照射,不仅能够促进植株生长、提高植株抗逆性,还可以利用植物对光周期反应不同的特性,对其生长发育进行调控[30]。利用激光对植物进行补光,

不仅能够提高植物的光能利用效率、改善果实品质，增强植物的抗氧化能力和生物活性，还可以修复由UV-B辐射引起的植物损伤[31-32]。激光技术在促进植物生长发育、提高产量和品质方面具有良好的应用潜力。

传统的补光设备白炽灯、荧光灯和高压钠灯等因光电转换效率低、污染环境和寿命短等问题已逐渐被淘汰，LED灯虽然具有寿命长和环保等优点，但由于部署不便、照射面积小等问题，在实际应用过程中存在一定的阻力。激光作为一种新型的补光设备，不仅能够对植物进行补光、提高植物的光合作用效率，还具备热效应、机械效应、电磁效应和生物刺激效应[33]。国内外学者在激光促进植物生长发育，提高产量和品质方面开展了大量的研究。陈必链等[34]以藻丝形态参量、叶绿素a、β胡萝卜素为评价指标，研究了半导体激光（波长650 nm，功率40 mW，功率密度13 mW/cm$^2$）对藻生长的影响，结果表明，8 min促长作用最明显，使比生长速率提高10.9%。ALMUHAYAWI等[35]研究发现，苦荞芽经过He-Ne激光处理，其矿物质、酶含量、抗氧化及抗炎活性得到了提高。OOI等[36]研究结果表明单波长激光光源适合于植物生长。郭君瑜等[37]研究发现，UV-B辐射对小麦幼苗叶绿体造成损伤，而适量的He-Ne激光辐照可以部分修复这种光合系统的损伤。图2为激光技术在植物补光中的应用。



**图2　激光技术在植物补光中的应用**

Figure 2　Application of laser technology in plant supplementary lighting

综上所述，国内外的研究都表明激光可以促进植物生长，但在应用上有所不同。国外的研究通常关注于激光的波长、强度和光谱特性对植物生长的具体影响，而国内则更多研究激光技术的实际应用。此外，国外在激光应用的标准化和商业化方面相对成熟，而国内在这方面还在探索阶段。

### 1.3　激光在植保中的应用

生物体对不同波长的激光有选择性吸收的特性，适当波长的激光照射可促使生物组织发生特定的光化学反应。强激光的生物热效应可以破坏细胞的正常新陈代谢，损害蛋白质结构，从而达到杀灭病毒和细菌或刺激细胞的效果，以实现提升机体的免疫能力、增强局部抗炎能力和除草杀虫目的[22]。激光通过机器视觉技术可以快速准确地识别和定位杂草，利用其在短时间内将大量能量聚焦于一束窄光线上的特性，实现对杂草的精准照射，从而达到高效除草的目的[38]。激光照射可使害虫产生遗传生理缺陷，例如雄性不育或遗传变异，破坏其繁殖力，达到防治的目的。与传统的化学除草杀虫技术相比，激光具有环保、高效和精准的优点。

利用激光高能量密度、相干性好和方向性强的特点，实现植物保护、高效管理和精确控制，不仅提高了农业生产的效率和精确性，还有助于环境保护和可持续发展。潘雷等[39]研究发现$CO_2$激光被用于切割杂草茎秆或照射杂草顶端分生组织，能有效抑制杂草再生长，激光是一种潜在控制作物内杂草的有效方法。MWITTA等[40]研究表明，二极管激光对行作物中的杂草具有潜在的有效性，可以通过调整激光功率和处理时间来控制杂草的死亡率。相关研究表明[22]，利用波长为450～560 nm的红宝石激光器，可以在几小时内有效消灭温室中的白粉虱和红蜘蛛等蔬菜重要害虫，以及生长在小麦、玉米、稻谷和高粱等粮食作物上的赤拟谷盗等害虫。694.3 nm波长的红宝石激光则适用于消灭皮虫和红叶螨等色彩较深的害虫。另外，488 nm的蓝光激光可以有效清除水中的孑孓、螨类和蚊类等害虫。对飞行中的蝗虫，$CO_2$激光器发射的红外光也显示出高效的消灭作用。利用害虫复眼对不同波长光的识别能力，可调谐激光器可以诱导害虫进入捕虫器，并将其有效地消灭。李海林等[41]利用激光位移传感器技术，对植保无人避障检测方法进行了研究，结果表明，该方法能够有效检测出未知环境下障碍物的方位和距离，并对障碍物类型作出判别。

激光技术在植保应用范围方面，国外的应用较为广泛，涉及从病虫害检测到精准喷洒的多个方面，而国内则更多集中在特定应用上，如病虫害防治和施药效率提升。

### 1.4　激光在植物检测中的应用

激光在植物检测中的技术主要包括激光漫反射技术、激光诱导荧光技术和激光拉曼光谱技术等。这些技术具备高精度、测量范围广、检测速度快和非接触性等特点，因此在植物组分分析、生物量测量以及农作物病虫害检测等领域有广泛的应用。激光漫反射检测技术的原理主要基于激光与目标物体表面的相互作用，通过分析漫反射光的特性来获取目标物体的信息[11]。激光诱导荧光技术是一种利用激光作为光源激发样品

中的荧光物质,使其发射出特定波长的荧光信号的技术。当激光照射到样品上时,样品中的荧光物质吸收激光能量并跃迁到高能级状态,随后在返回低能级状态的过程中以荧光的形式释放能量。通过对荧光的采集和分析,从而实现对植物生命特征的检测[42]。激光拉曼光谱技术是利用激光照射样品后,样品分子内部的振动模式发生变化,导致散射光的频率发生变化(即拉曼散射),通过测量散射光的频率变化,可以获得关于样品分子结构的信息[43]。

SAHBA 等[44]研究发现非接触式激光反射测量系统可以通过分析反射光的高斯轮廓来区分不同植物。QUENON 等[45]开发了一种用于无损检测菊苣内部品质的激光检测设备。MATVIENKO 等[46]利用激光诱导荧光技术对植被进行了研究,结果表明,在没有明显症状的早期阶段,荧光信号可用于远程检测植物的胁迫。孙玲等[47]利用激光诱导荧光技术对 5 种农药的荧光谱进行了检测和分析,结果发现荧光的光谱特性可用于区分不同农药的种类。邵咏妮等[48]研究发现利用激光共聚焦显微拉曼技术,结合化学计量学方法,可以快速区分不同藻类基于其色素含量比的差异,并有效地鉴别不同藻种。利用激光吸收与反射技术,可以实现农产品的糖酸度、质地和干物质含量等检测;激光诱导荧光技术则用于检测农产品中的农药残留、叶绿素含量和成熟度;激光拉曼光谱技术则可以用来对农产品中的果实损伤和农药残留情况进行评估[49]。

综上所述,激光技术在植物检测中具有广泛的应用前景,但国外的研究多集中在精准农业和环境监测方面,而国内主要集中在作物监测和科研试验中。

### 1.5 激光在植物表型中的应用

植物表型是指在遗传和环境影响下,植物形成的可观察和可测量的特征,包括生物物理特征(如生物量、植株高度、叶面积指数 LAI)、生物化学性状(如叶绿素和氮含量)以及生理性状(如光合作用、呼吸作用和抗逆性)。利用作物表型技术可以筛选出优良作物品种、预测农业生产产量,并优化田间生产管理。目前,激光雷达(light detection and ranging,LiDAR)是主流的作物表型技术之一。LiDAR 技术是一种利用激光对目标物体进行测量的技术。它的工作原理与无线电雷达类似,通过发射激光并接收其反射回来的光信号来确定目标物体与 LiDAR 之间的距离。常用的测距方法主要包括脉冲法和相位法两种。脉冲法是通过测量激光脉冲从发射到被目标反射回接收系统的总时间来计算距离的。相位法则是通过分析发射的调制光和被测目标反射的接收光之间的光强相位差,实现对被测目标距离的测量[50]。

周志宇等[51]利用地面激光雷达扫描系统(terrestrial LiDAR scanning,TLS)对加拿大一枝黄花进行多站扫描和点云融合,结果表明该系统能够连续观测植株生长过程,并能够实现非破坏性地测量植株的真实高度、叶面积、叶倾角和方位角等结构参数。BLANQUART 等[52]研究了激光雷达安装角度和高度对作物高度和密度估算的影响。当安装高度为 1.75 m,观测角度(激光扫描平面与水平面的夹角)为 90°时,作物高度估计结果最佳,平均误差(RMSE)为 0.082 m。LUO[53]等研究发现 LiDAR 技术是估计作物生物物理参数(如叶面积指数、高度和地上生物量)的有效工具。

总体来看,澳大利亚、德国和美国等发达国家具有较为成熟的作物表型监测平台。相比之下,我国在自主集成研发能力等方面都与这些国家存在显著差距。

## 2 激光技术在动物生产中的应用

### 2.1 激光在动物遗传育种中的应用

随着激光技术的迅速发展,国内外科研人员应用激光技术在渔业、畜牧业和家禽等育种方面做出了巨大的贡献。激光在动物中的应用,主要是利用激光照射生殖细胞,从而实现动物育种,获取经济效益。通过激光照射动物的生殖细胞,可以诱发有益基因突变。在多种家畜的精子研究中发现激光照射能有效增强精子的活力并延长其寿命。结合激光照射和人工选育,可以优化现有家畜品种并培育新品种[54]。

激光在动物育种方面主要包括激光诱变育种、性别选择和辅助孵化等。谭石慈等[55]以锦鲫为试验对象,利用不同波长和不同剂量的多种激光对受精卵进行多次重复辐照试验,结果成功获得一个由单尾变成双尾,且体色多种的新品种,并命名为中华彩鲤。美国农业研究中心开发的激光选择精子性别系统,主要是根据 X 精子染色体中的 DNA 比 Y 精子与卵子染色体明亮,利用电脑记录其荧光亮度,然后在电场的作用下,将 X 精子和 Y 精子分离[56]。MENGES 等[57]在牛的体外受精胚胎中,利用激光辅助孵化技术来改善妊娠率,结果体外生产胚胎的妊娠率得到了提高。张柠等[58]通过对激光灼刻后受精鸡蛋的孵化率、健雏率及雏鸡初生重的比较,发现一定参数下,激光灼刻对受精鸡蛋不会产生影响。

总体来看,国内外在激光技术应用于动物遗传育种方面都有显著进展。其中,国外主要利用激光技术对高精度的基因组筛选、遗传标记分析和动物胚胎的选择性培育等方面进行研究。国内则主要侧重于基因组数据采集和家畜改良等方面。

### 2.2　激光在动物生长中的应用

光在养殖业中的应用不仅仅关乎生产效率，更是提高产品质量的关键。通过模拟自然光照的变化，可以有效地改善动物的生活环境。在家禽养殖中，适当的光照控制可以促进蛋鸡的产蛋，提高蛋品质。同时，适宜的光照条件还有助于动物的行为管理，减少压力和不适，提高养殖效益。激光作为一种新型的光源，在提高养殖业生产效率和产品质量方面具有良好的应用前景。

AFANASYEV 等[59]研究发现低强度激光辐射能够促进年轻绵羊活体重量的增加，羊群在 4 个月和 7 个月大时的体重增长明显超过对照组。楼宝城等[60]研究表明，He-Ne 激光照射对莫桑比克罗非鱼仔鱼的生长、抗病、耐病和耐低温能力都有一定的促进作用。AFANASYEV 等[61]研究发现，激光技术可以作为一种环境友好的方式，用于刺激动物的非特异性免疫力，减少对传统抗生素的依赖，提升产品质量。利用激光对草料进行照射，能够有效地提高小公牛对草料的消化能力，对长草料和草秸的消化能力较未处理组分别提高了 11% 和 14%[62]。低能激光照射可有效防治猪的非传染性疾病，甚至在增强仔猪抵抗力及提高生产性能方面都表现出了极好的效果[63]。通过激光照射处理的亲鱼，其繁殖力和抗病抗逆力得到增强，且未发现致畸、致癌变等不良遗传退化现象[64]。图 3 为激光对促进鱼虾苗健壮的影响。

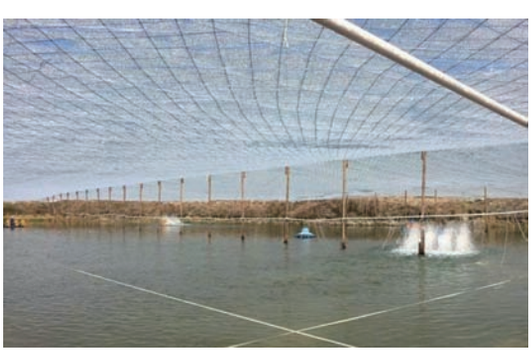


**图 3　激光对促进鱼虾苗健壮的影响**

Figure 3　Effects of lasers on promoting the health of fish and shrimp fry

### 2.3　激光在动物医疗方面的应用

激光在动物治疗中的应用已经逐渐成为兽医领域的一个重要工具。激光治疗在动物手术后的伤口愈合、疼痛和炎症管理以及某些特定疾病的治疗中显示出了显著的效果[65]。激光治疗在动物手术后伤口愈合中的具体机理涉及多个方面，主要包括促进炎症反应的控制、加速细胞增殖和组织重建以及改善伤口的生物力学性能。但激光治疗在动物医学中的安全性和潜在副作用是一个复杂且多面的议题，其安全性取决于多种因素，主要包括治疗参数的选择和个体差异。虽然有一些潜在的副作用和不确定性，但在严格控制条件下，激光治疗可以是一种有效的治疗手段。

WARDLAW 等[66]利用 8 J/cm$^2$的激光对犬外科创伤愈合情况进行治疗，每天一次，连续 7 d，结果表明激光治疗不仅能够促进伤口愈合，还能改善伤口的美观性。LAPINA 等[67]研究结果表明，低强度激光治疗对农业动物皮肤—肌肉伤口的愈合有积极影响，同时还具有抗炎、加速再生和康复过程的作用。王亚林等[68]利用 730 nm 低强度激光对大鼠背部皮肤创伤的修复效果进行了研究，结果表明，激光对大鼠皮肤创伤的愈合进程具有显著加速作用。激光对鱼群的生理系统功能具有刺激作用，能够促进血液循环激活酶，有利于疾病防治。氦氖激光器发出的光可使罗非鱼活力提高近 4 倍，发病死亡率可降低 3.8 倍，其原因是激光能够在鱼体皮肤黏液中形成一层防御屏障，对细菌和其他微生物具有防御作用[69]。激光技术在动物疾病的诊断中也显示出其独特的优势，新型的激光成像技术，能够实时监测动物体内的状况，提供高分辨率的图像，这对于研究药物在动物体内的扩散过程和不同器官对药物的反应具有重要意义[70-71]。

国内外在激光技术应用于动物生长和动物医疗方面各有侧重，国内更多关注于传统的畜牧业应用和安全性评估，而国外在提高动物生产效率的同时，更倾向于探索新技术的应用和环境友好方法。

### 2.4　激光在动物产品检测中的应用

在动物产品检测方面，激光技术与常见的酶联免疫吸附试验（ELISA）、PCR 检测和近红外光谱技术等相比，具有灵敏度较高和非侵入性等特点，常用于快速筛查和表面分析。ELISA 技术在畜产品药物残留、毒素、农药、微生物检测中具有操作简便、快速准确的优点。PCR 检测具有特异性强、灵敏度高等优点，常用于动物种类鉴定。近红外光谱技术能够实现在线、快速、无损检测，适用于蛋白质、脂肪及水分等化学组成成分分析。

激光技术在动物产品检测中的应用广泛且多样，从基本的成分分析到复杂的食品安全和质量控制，激光技术提供了一种高效、准确且非破坏性的检测手段。激光散射技术可以通过测定总蛋白溶液的颗粒光散射特性来区分正常猪肉和 PSE 肉[72]。激光散斑技术能够实现冷鲜猪肉新鲜度的检测，且 465 nm 波长的激光判别效果优于 660 nm 激光[73]。激光拉曼光谱技术可通过光谱积分指数确定微生物对肉制品在各种温度储存期间其腐败的影响，并实现肉制品质量评估和细菌污染程度的测定[63]。激光诱导击穿光谱（LIBS）与主

成分分析(PCA)和人工神经网络(ANN)相结合,能够对价格较低的罗非鱼和价格较高的尼罗河鲈鱼进行区分,实现相似外观鱼片的种类鉴别[74]。激光灼刻技术在畜产品追溯标识中具有突出优势,可以有效地标识畜产品的来源和加工过程,增强产品的可追溯性[75]。

在动物产品检测方面,国内主要利用激光质谱技术和生物散斑激光技术进行快速、无损的质量和安全检测,而国外则更多地应用激光诱导击穿光谱技术,以实现更广泛的食品分析和检测需求。

## 3 激光技术在菌物生产中的应用

### 3.1 激光在菌物育种中的应用

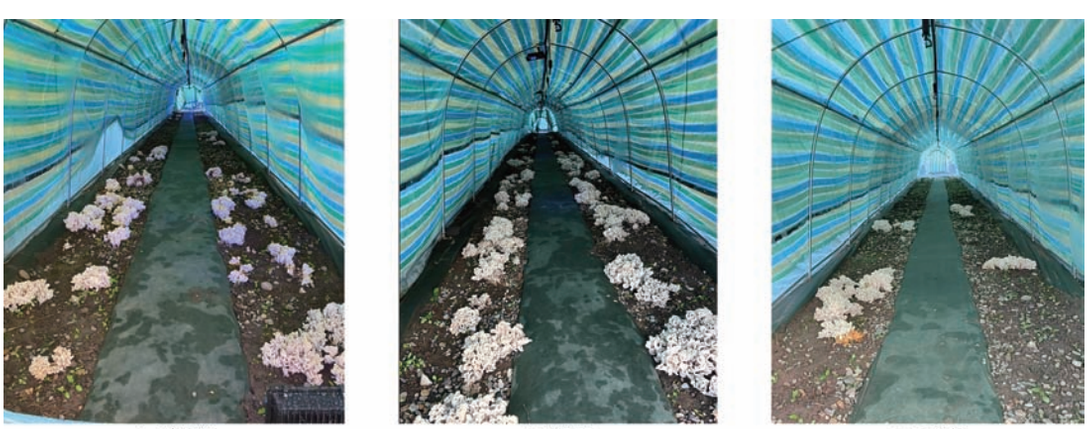
激光在菌物育种中的应用主要体现在通过激光诱变技术来筛选和培育具有特定优良性状的菌株,以提高菌物的产量、改善其品质或增强其抗逆性等。激光诱变技术作为一种物理诱变方法,与化学诱变和生物诱变相比,具有操作简便、成本较低、安全性高等优点[76]。因此,被广泛应用在菌物育种工作中,其中,在大型真菌中的应用效果比较突出[12]。目前,激光诱变菌物方面的研究主要包括机理研究和应用性研究两方面。

陈五岭等[77]利用He-Ne激光对香菇菌种进行照射,并筛选出比出发菌株菌丝生长速率明显加快的诱变株,经传代培养和酯酶同工酶谱分析,发现变异株具有良好的遗传稳定性。祝子坪等[78]使用He-Ne激光与紫外线对桑黄菌原生质体进行复合诱变研究,结果发现在相同紫外线剂量的条件下,与单纯紫外线诱变相比,激光与紫外复合诱变对桑黄菌原生质体的致死率较低,同时正变异率提高了35.29%。张晓昱等[79]研究发现,激光诱变在产多不饱和脂肪酸菌株选育方面具有高效性和高选择性。在阿魏菇多糖高产菌的育种中,通过离子束和激光辐照的复合诱变手段,成功获得了多糖产量显著提高的菌株PFPH-3,说明离子束和激光辐照复合诱变在改良阿魏菇多糖高产性状方面具有显著效果[80]。面包酵母菌的研究也证实了激光诱变能够有效提高低糖面团起发活力和海藻糖含量,且筛选到的高活力菌株遗传性能稳定[81]。LU等[82]利用激光紫外联合诱变(LA-UV)筛选出两株枯草芽孢杆菌突变株UV-1-84和LA-UV-1-11,突变株表现出较高的蛋白酶活性和良好的遗传稳定性。在发酵豆粕的试验中,UV-1-84和LA-UV-1-11突变株的豆粕肽产量分别比亲本菌株提高了13.66%和12.91%。

### 3.2 激光在菌物生长发育中的应用

光控制菌物重要的生理和形态反应,包括生长发育、保护性色素与蛋白的积累以及向性生长。光照对菌物生长发育的影响是多方面的,包括光质、光照强度和光照周期等。通过精确控制这些参数,可以有效促进菌物的生长发育,提高菌物的产量和质量。已被证明菌物物种对约450 nm(蓝色)~700 nm(红色)的光质有反应。目前普遍认为,在营养生长阶段,黑暗或弱光条件(20~100 lx)对菌丝的生长更有利,强烈的直射光会抑制菌丝的生长,甚至可能导致其死亡。光照时长会影响食药用菌原基形成和原基分化[83]。

激光作为一种新型的光源,在菌物的生长发育中具有多方面的积极影响,包括促进生长、改善生理生化特性、提高遗传稳定性等。薛正莲等[84]研究发现对茯苓菌进行He-Ne激光诱变处理后,其生长速率和生物量均有显著提高。张美萍等[85]利用低剂量He-Ne激光对平菇菌丝体进行处理,结果发现He-Ne激光辐照平菇菌丝体后,菌丝体的生长速度加快、SOD酶活性提高,有助于增强菌丝体的抗逆性和生存能力。程岩兴等[86]发现利用激光对香菇进行补光,能够增加香菇氨基酸总量,提高香菇的营养价值。图4为激光对菌菇生长的影响。



(a) 侧照 (b) 顶照 (c) 无光

**图4 激光对菌菇生长的影响**

Figure 4 Effects of lasers on mushroom growth

### 3.3 激光在菌物检测和鉴定中的应用

菌物的检测与鉴定工作一直以来都是国内外的研究焦点。目前，菌物检测与鉴定方法主要包括生理生化法和传统的培养法，这些方法具有鉴定周期长，灵敏度和特异性较差等特点，难以满足检测与鉴定需求。随着科技的发展，免疫分析技术和分子生物学技术因检测速度快、特异性高受到了科研人员的关注，但其由于操作困难等缺点，未能得到广泛的普及和使用[87]。激光技术因具有快速、高效和非侵入性等优势，成为菌物检测和鉴定的强大工具。常见的方法有激光诱导击穿光谱法（LIBS）、激光诱导荧光光谱法（LIFS）和基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱（MALDI-TOF MS）技术等。

ZHAO等[88]利用激光诱导击穿光谱法（LIBS）对金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌和大肠杆菌进行识别和鉴定，结果表明，使用主成分分析（PCA）和遗传算法（GA）结合人工神经网络（ANN）和支持向量机（SVM）所建立的模型准确率分别为97.5%和100%。刘宇等[89]利用激光诱导荧光光谱法（LIFS）对常见的食源性致病菌进行了检测和分析，发现634 nm和703 nm处的荧光峰可作为铜绿假单胞菌的直接识别特征，将光谱与动态聚类法相结合，能够实现粪肠球菌和鼠伤寒沙门氏菌的精确识别，识别率均达到100%，说明，LIFS技术在食源性致病菌快速检测研究中具有良好的应用前景。陈丽萍等[90]研究发现MALDI-TOF MS技术在食用菌检测领域具有广泛的应用价值，从样品取样、前处理到上机检测，整个鉴别过程不到20 min，且不同种类的食用菌具有独特的质谱特征，所形成的特征指纹图谱具有明显的区别，这也为食用菌鉴定提供了可靠的理论基础。

综上所述，国内研究更多地关注于激光技术在菌物育种和农业应用中的实际效果和机制探索，而国外研究则更倾向于探索激光技术在微生物工程等前沿科技领域的应用潜力。

## 4 展望

目前，激光技术在现代农业中占据着重要的地位，正在不断地推进着现代农业的快速发展和科技进步。然而，激光在现代农业生产中的应用多半仍处于探索和发展阶段，虽然在农业育种、生长调控和增质增产等方面具有良好的潜力，但也存在一定的局限性，激光在农业领域的应用易受到多种环境和生物因素的制约，且在农民和技术人员之间的普及程度不足。未来农业生产激光技术的研究可以从以下3个方面展开：

1）植物生产精准化。光环境对植物的生长和发育有着至关重要的影响。未来的激光种植业科技将更加注重光环境的精准调控，包括光照强度、光质、光周期等参数的优化和调节，以适应不同植物和生长阶段的需求。进一步优化激光波段选择、剂量控制和作用方式，以提高突变率和培育出更多、更优异的新品种，通过结合遗传学和激光技术，实现植物性状的精准调控和快速改良，通过结合物联网、人工智能等技术的应用，实现光照系统的自动化和智能化控制，根据植物生长的需求和环境变化自动调节光照参数，提高生产效率和管理水平。将激光技术与其他农业技术（如精准灌溉、智能化管理等）相结合，实现技术的集成和优化，提高农业生产效率和品质。

2）动物生产管理优化。在动物生长过程中，适宜的光照控制对动物的生长和行为管理至关重要。未来的激光养殖技术可进一步发展出更复杂、更智能的光照系统，以优化动物生长环境，提高生产效率和产品质量。进一步优化激光诱变育种技术，以实现更精准的基因改良和新品种的培育。同时，结合人工智能和大数据分析，精确预测激光处理对基因突变的影响，从而加速遗传进程和改良速度。注重激光治疗的安全性和效果的长期评估，同时探索新的治疗方法和技术，以应对不同动物种类的健康挑战。

3）菌物生产科学化。随着对菌物光生理反应机制的深入理解，激光作为一种精确可控的光源，将被更广泛地应用于菌物的生长发育调控中。未来的激光菌物生产技术应进一步探索不同波长和光强对菌物生理生化特性的影响，以优化光照条件，提高菌物生长效率和产量。推动激光在菌物生产中的创新应用，利用更先进的光学设备和技术，开发出更高效、更环保的菌物育种和生产方法。与光生物学、遗传学、生物化学等学科交叉研究，以提升菌物生产的整体效率和质量。

## 5 结束语

随着科技的迅猛发展，激光技术在植物生产、动物管理以及菌物研究中展现出巨大的潜力和重要性。激光技术以其独特的高精度和非侵入性特点，已经被广泛应用于农业领域。在植物生产方面，激光技术用于补光、检测和表型等研究，提高了种植效率和产量，并有效减少了病虫害的影响。在动物管理方面，激光技

术用于疾病诊断、手术治疗和行为研究,不仅提升了动物的健康水平,也优化了养殖管理效率和可持续性。在菌物研究中,激光技术被应用于菌物育种、生长发育和菌物的检测与鉴定等工作,通过诱变技术和光控制手段,显著提高了菌物的产量、质量和抗逆性。未来,激光技术将不断推进现代农业生产创新和进步,为现代农业的发展提供科学依据,并在现代农业转型升级中发挥重要作用。

## 参 考 文 献


[1] 曹志强. 自然界最基本循环和微生物农业[J]. 中国科学院院刊, 2011, 26(5): 570－576.
CAO Zhiqiang. The basic cycles in the nature and microbial agriculture [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2011, 26(5): 570－576.

[2] VIDYASAGAR P B. Role of light as an energy source and information carrier in plants [J]. IETE Technical Review, 2000, 17(6): 335－339.

[3] PAUL N D, MOORE J P, MCPHERSON M, et al. Ecological responses to UV radiation: interactions between the biological effects of UV on plants and on associated organisms [J]. Physiologia Plantarum, 2012, 145(4): 565－581.

[4] 梁雪梅, 贾鹏, 秦莉, 等. 激光在土地保护、农作物生长及害虫防治领域应用研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(2): 130－137.
LIANG Xuemei, JIA Peng, QIN Li, et al. Research progress of laser application in land protection, crop growth and pest control [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2021, 43(2): 130－137.

[5] 杜庆玺. 浅析激光的原理及其应用[J]. 中国新通信, 2020(22): 238－239.

[6] 王立军, 宁永强, 秦莉, 等. 大功率半导体激光器研究进展[J]. 发光学报, 2015, 36(1): 1－19.
WANG Lijun, NING Yongqiang, QIN Li, et al. Development of high power diode laser [J]. Chinese Journal of Luminescence, 2015, 36(1): 1－19.

[7] DUDAREVA L. Phytochrome (S): The main agent of action of low-intensity He - Ne laser radiation on seeds of cultivated plants: A review [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2024, 43(2): 382－401.

[8] 林晓梅, 孙浩然, 许毓婷, 等. 基于激光诱导击穿光谱对长白山黑猪肉部位分类[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(1): 299－304.
LIN Xiaomei, SUN Haoran, XU Yuting, et al. Classification of Changbai Mountains Pork based on laser-induced breakdown spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2021, 41(1): 299－304.

[9] 宋冰, 付永平, 李丹, 等. 食药用菌诱变育种研究进展[J]. 微生物学通报, 2017, 44(9): 2201－2212.
SONG Bing, FU Yongping, LI Dan, et al. Advances in the mutation breeding of edible and medicinal fungi [J]. Microbiology China, 2017, 44(9): 2201－2212.

[10] LAN Y T, GUO Y F, WANG T, et al. Design and test of a laser lighting device for plant growth [J]. Applied Optics, 2022, 61(15): 4238－4245.

[11] 周光华, 朱大洲, 王成. 激光技术在农作物检测中的应用进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14206－14208, 14347.
ZHOU Guanghua, ZHU Dazhou, WANG Cheng. Application progress of laser technique for crop detection [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(26): 14206－14208, 14347.

[12] 冯光文, 成浩, 徐辉, 等. 激光诱变技术在生物育种中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2007(5): 56－61.
FENG Guangwen, CHENG Hao, XU Hui, et al. Application of laser mutation technology in biology breeding [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2007(5): 56－61.

[13] WANG Z, DEVAIAH A K, FENG L N, et al. Fiber-guided $CO_2$ laser surgery in an animal model [J]. Photomedicine and Laser Therapy, 2006, 24(5): 646－650.

[14] 新型激光成像技术可实时监测动物体内状况[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(6): 531.

[15] 黄保续, 刘焕奇, 刘云, 等. 氦氖激光照射对小鼠脾淋巴细胞增殖反应影响的试验研究[J]. 激光杂志, 2003(2): 69－71.
HUANG Baoxu, LIU Huanqi, LIU Yun, et al. Study on the effects of He-Ne laser irradiation on the splenic T lymphocyte proliferative responses in mice [J]. Laser Journal, 2003(2): 69－71.

[16] 田枫, 康爱君, 董宇红, 等. $C_{57}$BL/6J-HBV转基因小鼠的繁育与检测[J]. 中国实验动物学报, 2002(1): 63－65.
TIAN Feng, KANG Aijun, DONG Yuhong, et al. Breeding and examination of $C_{57}$BL/6J-HBV transgenic mice [J]. Acta LaboratoriumAnimalis Scientia Sinica, 2002(1): 63－65.

[17] LOCKE A, FITZGERALD S, MAHADEVAN-JANSEN A. Advances in optical detection of human-associated pathogenic bacteria [J]. Molecules, 2020, 25(22): 5256.

[18] 陈云琳, 刘晓娟, 闻建平. 激光诱变微生物技术的研究进展[J]. 生物物理学报, 2003(4): 353－358.
CHEN Yunlin, LIU Xiaojuan, WEN Jianping. Research progress in technique of laser inducing microorganism [J]. Acta Biophysica Sinica, 2003(4): 353－358.

[19] 高宏正，李国强，邓素贞，等．微生物诱变育种概况及激光在微生物诱变中的应用[J]．黑龙江畜牧兽医，2015(9)：53－56.
GAO Hongzheng，LI Guoqiang，DENG Suzhen，et al. Overview of microbial mutation breeding and the application of laser in microbial mutation [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine，2015 (9)：53－56.

[20] ZHENG L，LI W，ZHAO M，et al. Laser-induced cavitation for sterilization of foodborne pathogenic bacteria [J]. Optical Engineering，2020，59 (3)：036103－036103.

[21] 李艳红．激光技术在作物诱变育种上的应用与展望[J]．安徽农业科学，2010，38(15)：7829－7830.
LI Yanhong. Application and outlook of laser in crop mutation breeding [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2010，38(15)：7829－7830.

[22] 朱家健．激光技术在农业中的应用及其展望[J]．农机化研究，2009，31(4)：222－225.
ZHU Jiajian. The prospect and application of laser technology in agriculture [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2009，31(4)：222－225.

[23] 付三玲，韦志仁，张伏，等．激光技术在农业上的应用及趋势[J]．农机化研究，2006(8)：189－190，212.

[24] 李万云，李韬．激光诱变育种技术的研究与开发应用前景[J]．新疆农业科学，2006(S1)：57－60.
LI Wanyun，LI Tao. Research and development of laser mutation breeding techniques [J]. Xinjiang Agricultural Sciences，2006(S1)：57－60.

[25] 郝丽珍，侯喜林，王萍，等．激光在农业领域应用研究进展[J]．激光生物学报，2002(2)：149－154.
HAO Lizhen，HOU Xilin，WANG Ping，et al. The development about laser applied in agricultural field [J]. Acta Laser Biology Sinica，2002(2)：149－154.

[26] 陈怡平，李丽，王勋陵，等．He-Ne激光和KT对小麦种子萌发与幼苗生长的影响[J]．激光生物学报，2002(6)：412－416.
CHEN Yiping，LI Li，WANG Xunling，et al. The effects of He-Ne laser and KT treatment on the seeds germination and growth of wheat [J]. Acta Laser Biology Sinica，2002 (6)：412－416.

[27] 张建东，陈怡平，王勋陵．$CO_2$激光处理对大豆种子萌发及生理的影响[J]．西北植物学报，2004(2)：221－225.
ZHANG Jiandong，CHEN Yiping，WANG Xunling，et al. Effects of $CO_2$ laser treatment on seeds germination and physiology of soybean [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2004(2)：221－225.

[28] 陈震古．激光诱导杨树单性生殖的研究[J]．光电子·激光，1999(5)：447－449.
CHEN Zhengu. Studies on poplar parthenogenesis induced by laser [J]. Journal of Optoelectronics•Laser，1999(5)：447－449.

[29] 张建民，张倩，王相伟．He-Ne激光照射海洋微藻的生物学效应的研究[J]．应用激光，2008(5)：406－409.
ZHANG Jianmin，ZHANG Qian，WANG Xiangwei. The study of biologic effects irradiated marine micro algae with laser [J]. Applied Laser，2008(5)：406－409.

[30] 高映宏，左颖．激光在现代农业及生物科学中的应用[J]．天津农学院学报，2002(1)：55－58.
GAO Yinghong，ZUO Ying. Usage of laser in modern agriculture and bioscience [J]. Journal of Tianjin Agricultural University，2002(1)：55－58.

[31] ALMUHAYAWI S M，ALMUHAYAWI M S，AL JAOUNI S K，et al. Effect of laser light on growth，physiology，accumulation of phytochemicals，and biological activities of sprouts of three brassica cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2021，69 (22)：6240－6250.

[32] 郝金花，马晓丽，韩榕．He-Ne激光对小麦幼苗增强UV-B辐射损伤的修复研究[J]．西北植物学报，2007(1)：62－67.
HAO Jinhua，MA Xiaoli，HAN Rong. Damage repair effects of He-Ne laser on wheat seedlings exposed to enhanced ultraviolet-birradiation [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2007(1)：62－67.

[33] 杨明来，王英，戚行江，等．激光技术在农业补光领域的应用与发展前景[J]．照明工程学报，2023，34(5)：12－18.
YANG Minglai，WANG Ying，QI Xingjiang，et al. Application and future prospects of laser technology in agricultural supplemental light [J]. China Illuminating Engineering Journal，2023，34(5)：12－18.

[34] 陈必链，王明兹，庄惠如，等．半导体激光对钝顶螺旋藻形态和生长的影响[J]．光子学报，2000(5)：411－414.
CHEN Bilian，WANG Mingci，ZHUANG Huiru，et al. Effects of LD laser on the growth and morphology of spirulina platensis [J]. Acta Photonica Sinica，2000(5)：411－414.

[35] ALMUHAYAWI M S，HASSAN A H A，ABDEL-MAWGOUD M，et al. Laser light as a promising approach to improve the nutritional value，antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of flavonoid-rich buckwheat sprouts [J]. Food Chemistry，2021，345：128788.

[36] OOI A，WONG A，NG T K，et al. Growth and development of *Arabidopsis thaliana* under single-wavelength red and blue laser light [J]. Scientific Reports，2016，6(1)：33885.

[37] 郭君瑜，张琴，韩榕．He-Ne激光对增强UV-B辐射小麦

幼苗叶绿体的影响[J]. 植物研究, 2009, 29(2): 204－208.
GUO Junyu, ZHANG Qin, HAN Rong. Effects of He-Ne laser on chloroplast of wheat seedling exposed to enhanced UV-B radiation [J]. Bulletin of Botanical Research, 2009, 29(2): 204－208.

[38] MATHIASSEN S K, BAK T, CHRISTENSEN S, et al. The Effect of laser treatment as a weed control method [J]. Biosystems Engineering, 2006, 95(4): 497－505.

[39] 潘雷, 陈树人, 栗移新, 等. $CO_2$激光除草应用初步研究[J]. 农机化研究, 2008(6): 171－173.
PAN Lei, CHEN Shuren, LI Yixin, et al. Weeding control application primary study by $CO_2$ laser [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(6): 171－173.

[40] MWITTA C, RAINS G C, PROSTKO E. Evaluation of diode laser treatments to manage weeds in row crops [J]. Agronomy, 2022, 12(11): 2681.

[41] 李海林, 吴开华, 王文杰, 等. 基于激光位移传感器的障碍物检测与模式识别[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(1): 120－123.
LI Hailin, WU Kaihua, WANG Wenjie, et al. Obstacle detection and pattern recognition based on laser displacement sensor [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2018, 37(1): 120－123.

[42] 梁锡辉, 区伟能, 任豪, 等. 激光诱导荧光检测技术[J]. 激光与光电子学进展, 2008(1): 65－72.
LIANG Xihui, QU Weineng, REN Hao, et al. Laser-induced fluorescence detection technology [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2008(1): 65－72.

[43] 林漫漫, 常静, 张朋, 等. 激光拉曼光谱技术在生物活体研究中的应用进展[J]. 广西科学, 2021, 28(6): 557－567.
LIN Manman, CHANG Jing, ZHANG Peng, et al. The application progress of laser raman spectroscopy in the study of organisms in vivo [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(6): 557－567.

[44] SAHBA K, ASKRABA S, ALAMEH K E. Non-contact laser spectroscopy for plant discrimination in terrestrial crop spraying [J]. Optics Express, 2006, 14(25): 12485－12493.

[45] QUENON V, JANSOK P T, DE BAERDEMAEKER J. Optical detection of the internal quality of Belgian endive (*Cichorium intybus L.*) [C]// International Conference: Postharvest Unlimited 599. 2002: 373－376.

[46] MATVIENKO G G, GRISHIN A I, KHARCHENKO O V, et al. Application of laser-induced fluorescence for remote sensing of vegetation [J]. Optical Engineering, 2006, 45(5): 056201－056201-5.

[47] 孙玲, 周寿桓, 阎吉祥, 等. 激光诱导荧光技术在农药残留物探测中的应用[J]. 激光与红外, 2003(6): 417－418.
SUN Ling, ZHOU Shouhuan, YAN Jixiang, et al. Application of laser induced fluorescence technique on detection of pesticide leftover [J]. Laser & Infrared, 2003(6): 417－418.

[48] 邵咏妮, 潘健, 蒋璐璐, 等. 基于激光共聚焦显微拉曼技术的藻种鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(7): 1908－1911.
SHAO Yongni, PAN Jian, JIANG Lulu, et al. Microalgae species identification study with raman microspectroscopy technology [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(7): 1908－1911.

[49] 药林桃, 刘木华, 刘道金, 等. 激光技术在农产品质量检测中的研究进展[J]. 激光生物学报, 2007(3): 369－373.
YAO Lintao, LIU Muhua, LIU Daojin, et al. Advances in inspecting agricultural products quality using laser technology [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2007(3): 369－373.

[50] 肖彬. 激光测距方法探讨[J]. 地理空间信息, 2010, 8(4): 162－164.
XIAO Bin. Methods for laser distance measurement [J]. Geospatial Information, 2010, 8(4): 162－164.

[51] 周志宇, 陈斌, 郑光, 等. 基于地基激光雷达点云的植被表型特征测量[J]. 生态学杂志, 2020, 39(1): 308－314.
ZHOU Zhiyu, CHEN Bin, ZHENG Guang, et al. Plant phenotypic measurement of solidago canadensis using terrestrial Li DAR scanning [J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(1): 308－314.

[52] BLANQUART J E, SIRIGNANO E, LENAERTS B, et al. Online crop height and density estimation in grain fields using LiDAR [J]. Biosystems Engineering, 2020, 198: 1－14.

[53] LUO S Z, CHEN J M, WANG C, et al. Effects of LiDAR point density, sampling size and height threshold on estimation accuracy of crop biophysical parameters [J]. Optics Express, 2016, 24(11): 11578－11593.

[54] 葛飞. 激光技术在农牧业中的应用[J]. 农牧产品开发, 1999(5): 28－29.

[55] 谭石慈, 朱延彬, 马俊富, 等. 激光辐照诱变鱼类育种[J]. 中国激光, 1993(9): 718－720.
TAN Shici, ZHU Yanbin, MA Junfu, et al. The mutation of fish breed by laser irradiation [J]. Chinese Journal of Lasers, 1993(9): 718－720.

[56] 徐志辉. 激光在畜牧业上的应用[J]. 新疆畜牧业, 1992(2): 35.

[57] MENGES S, WEI H, FABER D, et al. 140 Utilization of laser-assisted hatching to improve the pregnancy rate of in

vitro-fertilized bovine embryos [J]. Reproduction, Fertility and Development, 2008, 20(1): 150－151.

[58] 张柠, 林秀斌, 岳万福. 激光灼刻在受精鸡蛋上的应用及其影响分析[J]. 中国家禽, 2019, 41(13): 66－68.
ZHANG Ning, LIN Xiubin, YUE Wanfu. Application and influence analysis of laser engraving on fertilized egg [J]. China Poultry, 2019, 41(13): 66－68.

[59] AFANASYEV M, SHLYKOV S, OMAROV R, et al. Low-intensity laser radiation effect on young sheep growth and development [C]// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021, 848(1): 012078.

[60] 楼宝城, 林华英, 刘万顺, 等. 激光照射对罗非鱼仔鱼生长发育的研究Ⅰ. He-Ne激光照射对罗非鱼仔鱼的乳酸脱氢酶同功酶和糖化型淀粉酶的影响[J]. 应用激光, 1984(5): 213－216.
LOU Baocheng, LIN Huaying, LIU Wanshun, et al. A study of laser irradiation on the growth and development of tilapia mossambica′s larva [J]. Applied Laser, 1984(5): 213－216.

[61] AFANASYEV M, RUBTSOVA E, BOGATYREV N, et al. Analysis of the results of the impact of the laser device on the technological process of rearing young sheep [C]// BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2023, 57: 07002.

[62] 邱碧云. 激光照射处理草料有助于家畜的消化[J]. 粮食与饲料工业, 1990(5): 41.

[63] 林秀斌, 张柠, 岳万福. 激光在猪养殖业上的应用[J]. 当代畜禽养殖业, 2019(8): 59.

[64] 陈昌钧, 王瑞峰, 曾贤栋. 低功率$CO_2$激光、TDP及其它红外辐射对鱼类生长发育影响的研究[J]. 四川农业大学学报, 1993(1): 113－118.
CHEN Changjun, WANG Ruifeng, ZENG Xiandong. Studies on the influence of the development and growth in fish by low power $CO_2$ laser TDP and other infrared radiations [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1993(1): 113－118.

[65] 李梅清. 激光理疗技术在宠物临床中的应用研究进展[J]. 中国动物保健, 2022, 24(11): 102－104.

[66] WARDLAW J L, GAZZOLA K M, WAGONER A, et al. Laser therapy for incision healing in 9 dogs [J]. Frontiers in Veterinary Science, 2019, 5: 349.

[67] LAPINA V A, VEREMEI E I, PANCOVETS E A. Effect of laser irradiation for healing of the skin-muscle wounds of animals [C]// Lasers in Surgery: Advanced Characterization, Therapeutics, and Systems X. SPIE, 2000, 3907: 496－503.

[68] 王亚林, 曹阳, 赵惠军, 等. 730 nm低强度激光对大鼠创伤愈合的作用效果研究[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(10): 50－51.
WANG Yalin, CAO Yang, ZHAO Huijun, et al. Effect of 730 nm low intensity laser on the wound healing in rats [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 32(10):50－51.

[69] 朱家健. 激光技术在渔业中的应用及其发展趋势[J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 247－249.
ZHU Jiajian. The application and development trend of laser technology to fishery [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(5): 247－249.

[70] 林黎升, 陈德福, 顾瑛, 等. 评估光动力血管损伤的光学监测技术[J]. 激光生物学报, 2016, 25(2): 97－106.
LIN Lisheng, CHEN Defu, GU Ying, et al. Optical monitoring techniques for assessing vascular damage of vascular targeted photodynamic therapy [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2016, 25(2): 97－106.

[71] 叶子. 一种可实时监测动物体内状况的新型激光成像技术[J]. 北京生物医学工程, 2017, 36(3): 322.

[72] 黄雯琪, 潘伟春, 韩剑众. 激光散射技术在PSE猪肉鉴定中的应用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(1): 176－183.
HUANG Wenqi, PAN Weichun, HAN Jianzhong. The application of laser light scattering technology inpale, soft and exudative pork quality assessment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(1): 176－183.

[73] 蔡健荣, 刘梦雷, 孙力, 等. 基于改进惯性矩算法的冷鲜猪肉新鲜度激光散斑图像检测[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 268－274.
CAI Jianrong, LIU Menglei, SUN Li, et al. Laser speckle image detection of chilled pork freshness based onimproved moment of inertia algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(7): 268－274.

[74] HAMDY O, ABDEL-SALAM Z, ABDEL-HARITH M. Utilization of laser-induced breakdown spectroscopy, with principal component analysis and artificial neural networks in revealing adulteration of similarly looking fish fillets [J]. Applied Optics, 2022, 61(34): 10260－10266.

[75] 张柠, 林秀斌, 岳万福. 激光灼刻在畜产品追溯标识技术中的优势探析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(7): 67－70.
ZHANG Ning, LIN Xiubin, YUE Wanfu. Analysis on the advantages of laser burning on traceability identification technology for livestock products [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(7): 67－70.

[76] 刘超雄, 冯婷婷, 李亚娇, 等. 物理诱变技术在药用真菌育种中的应用现状与展望[J]. 北方农业学报, 2021, 49(2): 56－62.
LIU Chaoxiong, FENG Tingting, LI Yajiao, et al.

Application status and prospect of physical mutagenesis technology in medicinal fungi breeding [J]. Journal of Northern Agriculture, 2021, 49(2): 56－62.

[77] 陈五岭, 罗海峰, 张小里. He:Ne激光诱变的香菇变异株遗传稳定性分析[J]. 光子学报, 2000(4): 380－384.
CHEN Wuling, LUO Haifeng, ZHANG Xiaoli. Analysis of the hereditary stability of the mutants of lentinus edodes mutated by He-Ne laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2000(4): 380－384.

[78] 祝子坪, 马海乐, 曲文娟. He-Ne激光与紫外线复合诱变桑黄菌原生质体的研究[J]. 应用激光, 2007(3): 220－223.
ZHU Ziping, MA Haile, QU Wenjuan. The study of compound mutation by UV and He-Ne laser on protoplast from phellinus igniarius [J]. Applied Laser, 2007(3): 220－223.

[79] 张晓昱, 邓张双, 朱长虹, 等. 激光诱变选育高产PUFAs真菌菌株的研究[J]. 激光生物学报, 2005(2): 129－133.
ZHANG Xiaoyu, DENG Zhangshuang, ZHU Changhong, et al. Study on screening of fungi strain with highly content PUFAs by laser mutation method [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2005(2): 129－133.

[80] 陈恒雷, 武宝山, 石伟娜, 等. 阿魏菇多糖高产菌的离子束和激光复合诱变育种[J]. 生物技术, 2010, 20(1): 30－33.
CHEN Henglei, WU Baoshan, SHI Weina, et al. Ion beam and laser composite mutagenesis breeding of pleurotus polysaccharide high-yield strains [J]. Biotechnology, 2010, 20(1): 30－33.

[81] 李红民, 黄仁泉. 激光诱变选育面包酵母菌的研究[J]. 光子学报, 2001(11): 1381－1384.
LI Hongmin, HUANG Renquan. The screening of baker′s yeast by laser irradiation [J]. Acta Photonica Sinica, 2001(11): 1381－1384.

[82] LU F, CHAO J P, ZHAO X X, et al. Enhancing protease activity of Bacillus subtilis using UV-laser random mutagenesis and high-throughput screening [J]. Process Biochemistry, 2022, 119: 119－127.

[83] 洪沛, 舒黎黎, 李天来, 等. 光环境对食用菌生长发育的影响[J]. 食用菌学报, 2021, 28(4): 108－115.
HONG Pei, SHU Lili, LI Tianlai, et al. Effect of light environment on growth and development of edible fungi [J]. Acta Edulis Fungi, 2021, 28(4): 108－115.

[84] 薛正莲, 潘文洁, 杨超英. 采用He-Ne激光诱变选育速生高产茯苓菌[J]. 食品与发酵工业, 2005(2): 51－54.
XUE Zhenglian, PAN Wenjie, YANG Chaoying. Studies on the screening of fast growing and high yielding poria cocos strains by using He-Ne laser irradiation [J]. Food and Fermentation Industries, 2005(2): 51－54.

[85] 张美萍, 卢英梅, 陕永杰, 等. He-Ne激光辐照对平菇菌丝体SOD同工酶的影响及增产效应的研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2007(1): 89－92.
ZHANG Meiping, LU Yingmei, SHAN Yongjie, et al. The influence of SOD in Pleurotus ostreatus as well as the effect on production after irradiation by He-Ne laser [J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2007(1): 89－92.

[86] 程岩兴, 冯伟林, 杨利英, 等. 激光助长对香菇氨基酸含量影响研究初探[J/OL]. 浙江农业科学, 1－7 [2024-07-20]. https://doi. org/10.16178/j. issn. 0528-9017.20230939.
CHENG Yanxing, FENG Weilin, YANG Liying, et al. Preliminary study on the effect of laser assisted growth on the amino acid content of Lentinula edodes [J/OL]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 1－7 [2024-07-20]. https://doi. org/10.16178/j. issn. 0528-9017.20230939.

[87] 杜美红, 赵瑞雪, 李静雯. 基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱分析技术在微生物检测与鉴定中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(2): 457－461.
DU Meihong, ZHAO Ruixue, LI Jingwen. Application of matrix-assisted laser desorption ionization time of flight mass spectrometry in the detection and identification of microorganisms [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(2): 457－461.

[88] ZHAO Y, WANG Q, CUI X, et al. Discrimination of hazardous bacteria with combination laser-induced breakdown spectroscopy and statistical methods [J]. Applied Optics, 2020, 59(5): 1329－1337.

[89] 刘宇, 李增威, 邓志鹏, 等. 激光诱导荧光光谱快速检测食源性致病菌[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(9): 2817－2822.
LIU Yu, LI Zengwei, DENG Zhipeng, et al. Fast detection of foodborne pathogenic bacteria by laser-induced fluorescence spectrometry [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2021, 41(9): 2817－2822.

[90] 陈丽萍, 闫占鹏, 刘美丽, 等. MALDI-TOF-MS技术在大型食用菌甄别鉴定中的应用[J]. 中国口岸科学技术, 2020(3): 33－42.
CHEN Liping, YAN Zhanpeng, LIU Meili, et al. Application of MALDI-TOF-MS technology inidentification of large-scale edible fungi [J]. China Port Science and Technology, 2020(3): 33－42.

# Advancements and prospects in laser agriculture

YU Helong[1, 2], ZHOU Leijinyu[1, 2], XU Xingmei[1, 2], YANG Minglai[1, 2*]
Jian ZHANG[3], JIANG Jingchi[4, 5], LI Zhuoshi[6, 7]

(1. *College of Information Technology, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China*; 2. *Institute of Smart Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China*; 3. *Department of Biology, University of British Columbia, Okanagan, Kelowna* BC V5K1K5, *Canada*; 4. *Faculty of Computing, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150001, *China*; 5. *National Key Laboratory of Smart Farm Technologies and Systems, Harbin* 150001, *China*; 6. *College of Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China*; 7. *International Cooperation Research Center of China for New Germplasm Breeding of Edible Mushrooms, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China*)

**Abstract:** Laser, as an emerging artificial light source, is one of the greatest inventions of the 20th century, featuring high power density, excellent directionality, and superb monochromaticity. It has been widely applied in the agricultural sector. This article provides an in-depth analysis of the research progress and development trends of laser technology in agriculture. In plant production, it discusses applications in plant mutation breeding, promoting plant growth and development, enhancing yield and quality, plant protection, plant detection, and phenotyping. In animal management, the focus is on the use of laser technology in animal genetic breeding, growth, medical care, and product testing. For fungal research, it summarizes the use of laser technology in fungal breeding, growth, detection, and identification. The article also addresses the challenges and difficulties faced when integrating laser technology with agricultural production, proposing directions for future development, such as improving precision in plant production, optimizing animal management, and advancing scientific fungal production. Although laser technology has already achieved significant results in agriculture, future research should explore more innovative applications and integrate with artificial intelligence and big data technologies to further advance the deep integration of laser technology with the agricultural industry, leading to more efficient and intelligent agricultural production management and offering new opportunities and breakthroughs for modern agriculture.

**Keywords:** laser technology; agricultural production; plants; animals; fungi