

生物多样性调控对稻田病虫害绿色防控的效应分析

李锐¹ 包国军^{2*}

1 彝良县植保植检站 2 彝良县农业技术推广中心

DOI:10.12238/as.v8i11.3447

[摘要] 稻田生态系统作为全球重要的农业生产系统,其病虫害防控长期依赖化学农药,导致生态平衡破坏、农药残留及生物多样性下降等问题。生物多样性调控通过优化稻田生态系统结构(如间作套种、生境调控、品种多样化等),增强自然天敌控害能力,降低病虫害发生风险,是实现绿色防控的核心路径。本文系统梳理了生物多样性调控的主要技术类型,从生态位互补、天敌资源增殖、化感作用及抗病虫基因利用等方面解析其控害机制,结合国内外典型案例分析了不同调控措施对稻飞虱、二化螟、稻瘟病等主要病虫害的防控效应,并探讨了当前实践中存在的技术瓶颈(如规模化应用难度、效益稳定性等)及未来发展方向(如精准调控技术、智能化管理等)。研究表明,生物多样性调控可显著提升稻田生态系统的抗性与稳定性,减少农药使用量30%–60%,同时保障水稻产量与品质,为农业绿色可持续发展提供重要支撑。

[关键词] 生物多样性调控; 稻田生态系统; 病虫害绿色防控; 自然天敌; 生态位

中图分类号: Q178.51+6 **文献标识码:** A

Analysis of the Effect of Biodiversity Regulation on Green Pest Control in Rice Paddy Fields

Rui Li¹ Guojun Bao^{2*}

1 Yiliang County Plant Protection and Plant Inspection Station

2 Yiliang County Agricultural Technology Promotion Center

[Abstract] The rice paddy ecosystem is an important global agricultural production system. Its pest and disease control has long relied on chemical pesticides, resulting in ecological imbalance, pesticide residues, and decline in biodiversity. Biodiversity regulation optimizes the structure of the rice paddy ecosystem (such as intercropping and polyculture, habitat regulation, and variety diversification), enhances the control ability of natural enemies, reduces the risk of pest and disease occurrence, and is the core path to achieve green control. This paper systematically reviews the main technical types of biodiversity regulation, analyzes its control mechanism from aspects such as ecological niche complementarity, increase of natural enemy resources, allelopathic effects, and utilization of disease and pest resistance genes, and combines domestic and international typical cases to analyze the control effects of different regulation measures on major pests and diseases such as rice planthopper, brown planthopper, and rice blast. It also discusses the technical bottlenecks existing in current practice (such as the difficulty of large-scale application, stability of benefits, etc.) and future development directions (such as precise regulation technology, intelligent management, etc.). The research shows that biodiversity regulation can significantly enhance the resistance and stability of the rice paddy ecosystem, reduce pesticide usage by 30%–60%, and at the same time ensure rice yield and quality, providing important support for the sustainable development of agriculture.

[Key words] Biodiversity regulation; Rice paddy ecosystem; Green pest control; Natural enemies; Ecological niche

引言

水稻是全球近50%人口的主粮,中国是水稻生产大国,稻田面积占世界18.5%(FAO, 2024)。但病虫害威胁制约水稻高产稳产,

每年造成10%–30%的产量损失。传统防控模式以化学农药为主,虽短期内控制了病虫害扩散,但长期大量使用引发害虫抗药性增强、天敌减少、环境污染等生态问题,还威胁人类健康。因此,

探索环境友好、可持续的防控策略成为研究热点。生物多样性的调控作用在农业病虫害绿色防控中受关注,联合国《生物多样性公约》提出,通过农业生物多样性管理增强生态系统服务功能,是实现可持续发展目标的重要途径。稻田生态系统生物多样性潜力高,合理调控生物群落结构可构建生态防御体系,降低病虫害发生概率。本文基于最新研究成果,分析生物多样性调控对稻田病虫害的防控效应、机制及应用前景,为稻田绿色生产提供理论参考。

1 稻田生物多样性调控的技术类型与原理

(1) 技术类型: 稻田生物多样性调控技术可划分为植物多样性调控、生境多样性调控和遗传多样性调控三大类别,具体措施如下: 植物多样性调控方面,一是间作/套种,于稻田内种植非禾本科作物(例如大豆、紫云英、茭白等)或显花植物(例如芝麻、波斯菊),通过提高植被层次多样性来增强生态系统的复杂性。举例而言,“稻-豆”间作能够借助豆科植物的固氮作用改良土壤肥力,同时吸引寄生蜂、瓢虫等天敌。二是边际植被管理,留存稻田周边田埂、沟渠的杂草带或种植多年生草本植物,构建天敌的栖息地与食物资源库。研究显示,田埂保留50%以上的自然植被可使蜘蛛、寄生蜂等天敌数量增长2-3倍。生境多样性调控方面,一是人工湿地构建,在稻田周边挖掘生态沟渠,种植沉水植物(例如苦草、狐尾藻)和挺水植物(例如菖蒲、芦苇),形成“稻田-湿地”复合生态系统,为两栖动物(例如青蛙)、水生昆虫(例如蜻蜓幼虫)提供繁殖场地,加大对害虫的捕食压力。二是有机物料还田,将秸秆、绿肥等有机物料归还农田可提高土壤微生物多样性(例如放线菌、芽孢杆菌),抑制病原菌的繁殖。遗传多样性调控方面,一是品种混种,把抗病品种与常规品种按一定比例混合播种(例如抗稻瘟病品种与高产品种按1:3混种),利用遗传异质性降低病原菌的传播效率。例如,云南元阳稻区通过“红米-白米”品种混种,使稻瘟病发病率降低40%-50%。二是野生近缘种利用,引入水稻野生近缘种(例如药用野生稻)的抗病基因,培育兼具高产与抗性的新品种,增强种群整体的抗病虫能力。

(2) 调控原理: 生物多样性调控借助以下机制达成病虫害防控目标。其一为生态位互补效应,多样化的生物群落占据不同生态位,能够降低病虫害的寄主资源集中度。例如,在稻-茭白间作模式中,茭白作为二化螟的“诱集植物”,吸引成虫产卵,其幼虫在茭白茎秆中的存活率低于5%,进而减轻对水稻的危害。其二是天敌资源增殖效应,显花植物(如三叶草)可为寄生蜂(如稻螟赤眼蜂)提供花蜜和花粉,使其寿命延长30%-50%,寄生率提升20%-40%。同时,植被多样性的增加可为蜘蛛、步甲、青蛙等天敌提供隐蔽场所和猎物资源,有助于形成稳定的天敌群落。其三是化感作用与诱导抗性,某些植物(如薄荷、大蒜)释放的挥发性物质(如萜类化合物)能够抑制病原菌孢子萌发,对稻瘟病菌的抑制率可达65%;水稻与大豆间作时,大豆根系分泌的黄酮类物质可使水稻叶片苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性提高2倍,增强水稻的抗病性。其四是微生态平衡调节,土壤微生物多样性的提升可通过竞争、拮抗作用抑制病原菌繁殖。例如,施用生物炭可增加

稻田土壤中假单胞菌、芽孢杆菌等有益微生物数量,使纹枯病发病率降低25%-35%。

2 生物多样性调控对稻田主要病虫害的防控效应

(1) 对虫害的防控效应: 稻田虫害主要以稻飞虱(包括褐飞虱和白背飞虱)、二化螟、稻纵卷叶螟等害虫为主,生物多样性调控措施对其防控效果显著。具体来说,稻飞虱通过刺吸水稻汁液,导致植株枯萎,甚至死亡,更为严重的是,稻飞虱还能传播多种病毒病,如南方黑条矮缩病,给水稻生产带来巨大威胁。研究表明,在稻田周边种植香根草(*Vetiveria zizanioides*)能够显著降低稻飞虱的种群数量。香根草释放的倍半萜类物质对稻飞虱具有强烈的驱避作用,使其不敢靠近;同时,香根草的根系分泌物能够吸引稻飞虱的天敌——黑肩绿盲蝽,这种天敌能够有效捕食稻飞虱,从而使稻飞虱的虫口密度降低52%-68%。此外,在稻-鸭共作系统中,鸭子通过捕食稻飞虱的若虫和成虫,结合其在稻田中的活动对稻株产生的机械扰动,能够显著提高对稻飞虱的防治效果,防治效果可达70%-85%,这一效果与使用化学农药相当。对于二化螟,其主要以幼虫蛀食水稻茎秆,造成“枯心苗”和“白穗”等现象,严重影响水稻产量和品质。采用“水稻-紫云英”轮作模式,紫云英在3-4月的花期可为二化螟的天敌(如茧蜂)提供丰富的蜜源,从而吸引天敌前来寄生二化螟的卵,使其卵寄生率从常规田的15%显著提升至45%;同时,紫云英翻压后能够增加土壤有机质含量,促进放线菌的大量繁殖,放线菌分泌的抗生素能够有效抑制二化螟蛹的羽化,进一步降低二化螟的危害。通过这些生物多样性调控措施,稻田虫害得到了有效控制,为水稻的稳产高产提供了有力保障。

(2) 对病害的防控效应: 稻瘟病、纹枯病和细菌性条斑病是稻田危害最严重的病害。生物多样性调控对这些病害的防控机制如下: 首先,针对稻瘟病,品种遗传多样性是防控关键。四川省农业科学院采用“抗病品种(如‘川香优9838’)与感病品种(如‘F优498’)按3:1比例混种”的方法,利用抗病基因互补效应,使稻瘟病病情指数显著降低40%-60%,且混种田块产量比单一种植抗病品种的田块提高8%-12%。此外,稻田种植万寿菊能释放 α -三联噻吩抑制稻瘟病菌孢子萌发,田间防治效果达58%。其次,针对纹枯病,其病原菌以菌核形式在土壤越冬并传播。研究人员采用“稻-鱼-萍”综合种养模式,绿萍覆盖水面降低水温2-3℃抑制病原菌菌丝生长,鱼类摄食病叶和菌核减少初侵染源,使纹枯病发病率降低30%-45%。通过这些生物多样性调控措施,有效控制了稻田病害,保障了水稻稳产和高产。

(3) 综合效应与产量影响: 生物多样性调控的综合效应体现在“控害-增产-提质”协同提升。通过综合分析全球126项田间试验的Meta分析结果显示,采用生物多样性调控技术的稻田,平均农药使用量减少42%,天敌多样性指数提高56%,水稻产量较常规管理田增加5%-15%(除极端气候年份外)。例如,浙江省“稻-鸭-萍”生态系统示范区,通过连续5年的监测表明,稻田综合效益(产量+生态价值)提升28%,且稻米中重金属(如镉)含量降低35%(浙江省农业农村厅,2023)。这一结果表明,生物多样性调控

技术在提高水稻产量的同时,还能有效降低农药使用量,提高天敌多样性指数,从而实现“控害-增产-提质”的协同提升。

3 典型案例分析

(1) 中国云南“稻田生物多样性保护与利用模式”: 位于云南省的哈尼梯田,作为被联合国教科文组织列入世界文化遗产名录的宝贵遗产,拥有着长达1300余年悠久历史的稻作文化传承。在这片古老的梯田中,形成了一种独特的“红米水稻-鱼-鸭-水生植物”复合生态系统,堪称全球生物多样性保护和调控的杰出典范。在该复合系统中,种植的红米品种,例如被誉为“老品种红米”的珍贵稻种,天然携带抗逆基因,具备较强的抗病虫害和适应环境的能力;放养的鸭子在田间自由活动,有效捕食各类害虫,减少了害虫对稻苗的侵害;水面上漂浮的浮萍通过固氮作用,为水体和土壤提供天然氮肥;而游弋于水中的鱼类则负责清除残饵和杂草,维持水体清洁。这一系列生物间的相互作用,共同构建了一个“无农药、无化肥”的绿色生态循环体系。科学监测数据表明,该复合生态系统内的稻田生物多样性指数,采用Shannon-Wiener指数进行衡量,高达2.8,显著高于常规稻田,约为其1.6倍;同时,主要害虫二化螟的虫口密度在该系统中仅为常规稻田的1/3,有效控制了害虫数量;更为可喜的是,水稻的千粒重在此模式下提高了10%-15%,显著提升了稻米的产量和质量。这一模式不仅展示了人与自然和谐共生的智慧,也为全球农业可持续发展提供了宝贵的经验和借鉴。

(2) 菲律宾“水稻-玉米-蔬菜间作系统”: 国际水稻研究所(IRRI)在吕宋岛积极推广一种创新的“水稻-玉米-豇豆”间作模式。该模式巧妙地利用了三种作物在生长周期上的显著差异——具体而言,水稻的生长周期约为120天,玉米的生长周期约为90天,而豇豆的生长周期则相对较短,仅为60天。通过这种科学的间作安排,能够在全年内实现农田植被的连续覆盖,有效减少了杂草的生长和害虫的滋生,从而显著改善了农田的生态环境。在该间作模式的实际应用中,稻飞虱的年发生次数从常规单作模式下的5次大幅降低至2次,这不仅大大减轻了农户的防治压力,还使得农药的使用成本显著降低了62%。更为重要的是,这种间作模式显著提升了农户的经济效益,人均收入增加了35%,为当地农民带来了实实在在的好处。

4 技术瓶颈与未来展望

(1) 当前瓶颈: 规模化应用困难较大。生物多样性调控技术(例如品种混种、间作)需要精准匹配作物的生态适应性,在传统小农经营模式下难以进行标准化推广。效益稳定性欠佳,受气候(如极端干旱)、土壤肥力等环境因素的影响,控害效果年际波动

较为明显(变异系数达20%-30%)。经济回报周期较长,前期需要投入生境改造(如生态沟渠建设)和品种筛选成本,短期效益低于化学防控。

(2) 未来方向: 精准调控技术研发: 借助遥感(RS)与物联网(IoT)监测稻田生物群落动态,达成“天敌-害虫-作物”匹配的智能化调控(例如按需种植显花植物); 功能型品种选育: 运用基因编辑技术培育具备“抗虫+诱集+蜜源”功能的水稻品种,提高生物多样性调控效率; 政策与市场激励: 构建绿色农产品溢价机制(如“生物多样性认证稻米”),通过补贴生态沟渠建设、天敌繁育等环节,降低农户应用成本。

5 结论

生物多样性调控通过优化稻田生态系统结构与功能,构建了“以生态过程控害、以自然天敌保益”的绿色防控体系,其对稻飞虱、二化螟、稻瘟病等主要病虫害的防控效果显著,可大幅减少农药依赖,同时保障水稻产量与生态安全。尽管当前面临规模化应用与效益稳定性等挑战,但随着精准农业技术、功能型品种选育及政策支持体系的完善,生物多样性调控必将成为稻田病虫害绿色防控的核心技术路径。未来需进一步加强“基础研究-技术研发-产业应用”的协同创新,推动稻田生态系统向“高产、优质、低耗、可持续”方向发展,为全球农业生物多样性保护与粮食安全作出中国贡献。

[参考文献]

- [1]俞欢慧.利用稻田田埂生物多样性控制水稻虫害的效应研究[D].海南大学,2014.
- [2]丁文斌,陶吉平,李勤凤,等.稻鸭共育对稻田杂草和病虫害生物防治效应研究[J].上海农业科技,2006,(01):99-100.
- [3]禹盛苗,金千瑜,欧阳由男,等.稻鸭共育对稻田杂草和病虫害的生物防治效应[J].中国生物防治,2004,(02):99-102.
- [4]王敏,周瑞岭.稻田病虫害绿色防控策略与措施[J].农家参谋,2021,(13):69-70.
- [5]宋雪雯.水稻病虫害防控技术探究[J].广东蚕业,2021,55(06):61-62.

作者简介:

李锐(1988--),男,汉族,云南昭阳人,本科、单位: 彝良县植保植检站、职称农艺师,研究方向植物保护。

*通讯作者:

包国军(1988--),男,汉族,云南彝良人,本科、单位: 彝良县农业技术推广中心、职称助理农艺师,研究方向农技推广。