

小麦赤霉病防控技术研究进展

张华崇, 赵树琪, 闫振华, 黄晓莉, 戴宝生, 李蔚 (黄冈市农业科学院, 湖北黄冈 438000)

摘要 赤霉病是小麦主要病害之一, 对小麦生产和食品安全构成了严重威胁。综述了小麦赤霉病防控技术的主要研究进展, 包括选育抗病品种、化学防控技术和生物防治技术等, 旨在为小麦赤霉病的防控提供依据。

关键词 小麦; 赤霉病; 防控技术; 进展

中图分类号 S435.121.4⁺5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)11-0020-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.11.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on the Prevention and Control Technologies of Wheat Scab

ZHANG Hua-chong, ZHAO Shu-qi, YAN Zhen-hua et al (Huanggang Academy of Agricultural Sciences, Huanggang, Hubei 438000)

Abstract Wheat scab caused by *Fusarium graminearum* is one of the main diseases of wheat, which poses a serious threat to wheat production and food safety. Main research progresses on the prevention and control technologies on wheat scab were reviewed, including the selection of disease-resistant varieties, chemical control and biological control technologies, in order to provide the basis for the prevention and control of wheat scab.

Key words Wheat; Scab; Prevention and control technology; Progress

赤霉病(fusarium head blight, FHB)是小麦生产中主要的病害之一, 对小麦的高产稳产有不利影响, 且发病后产生的多种毒素可引起人畜食用后中毒, 严重威胁食品安全^[1]。我国引起小麦赤霉病的病原菌主要是禾谷镰孢菌^[2], 主要为害穗部, 造成穗腐。在大流行时病穗率为 50%~100%, 会导致小麦减产 10%~40%; 中流行时病穗率为 30%~50%, 会导致小麦减产 5%~15%^[3]。据统计, 2019 年小麦赤霉病的发生面积 0.1 亿 hm², 近年来在我国逐渐由长江中下游地区向黄淮海区蔓延。近年来, 许多学者采用不同方法防控小麦赤霉病的发生, 对病害防控工作开展了大量研究。笔者从选育抗病品种、化学防控技术和生物防治技术等方面综述了小麦赤霉病的防控技术研究进展。

1 选育抗病品种

抗病品种在小麦赤霉病防治中是最经济、有效的措施, 发掘赤霉病抗原是培育抗病品种的首要工作。20 世纪 70 年代中期成立的全国性小麦赤霉病研究协作组, 经鉴定发现了苏麦 3 号、望水白 2 个高抗且抗性稳定的普通小麦种质资源^[4]。近年来, 许多学者对我国小麦品种进行了抗赤霉病鉴定, 发现来自长江中下游地区的小麦品种抗性最强, 其次是长江上游地区, 而黄淮地区小麦品种的赤霉病抗性最弱, 小麦品种赤霉病抗性仅达到中抗水平, 抗性普遍较差, 且还未发现对赤霉病免疫的品种^[5-10]。

鉴于此, 育种专家们开始扩大赤霉病抗原的筛选范围, 发现在小麦近缘种属中鹅观草属、赖草属、黑麦属和偃麦草属等存在一些抗赤霉病种质资源, 并成功创制了一批抗赤霉病材料。吴丽芳等^[11]通过对普通小麦品种中国春与高鹅观草杂种回交后代 BC₂F₂₋₅ 和 BC₃F₁₋₄ 的抗病分析, 发现其具有

较好的赤霉病抗性。陈佩度等^[12]将大赖草抗性导入普通小麦中国春中, 对其后代进行了赤霉病抗性鉴定, 获得了一批抗性强于苏麦 3 号的材料。周建平^[13]用小麦-黑麦单体附加系的染色体工程方法创制并选育出小麦品系 R111, 进行抗病鉴定, 结果表明品系 R111 具有稳定的、比苏麦 3 号更好的赤霉病抗性, 且遗传稳定。陈士强等^[14]连续 2 年于开花期采用单花滴注法对 31 份中国春-长穗偃麦草的 1E 和 7E 染色体附加系和置换系进行了穗部接种抗病鉴定, 发现病小穗率均较低。Wang 等^[15]克隆了来源于长穗偃麦草抗性主效基因 *Fhb7*, 并转移至小麦品种, 抗病鉴定发现该基因不仅具有稳定的赤霉病抗性, 而且具有广谱的解毒功能。以上研究表明, 可以通过远缘杂交将小麦近缘种中抗性转移至普通小麦, 创制出抗赤霉病新材料。

近年来, 随着分子生物学的发展, 国内外学者发现了抗赤霉病主效基因 *Fhb1-7*, 并对其进行了精细定位^[16-24], 其中 *Fhb1* 已被证实是抗性最强且稳定的抗赤霉病基因。朱展望等^[25]对 229 份小麦品种(系) *Fhb1* 进行溯源分析, 结果发现中国小麦品种所含 *Fhb1* 至少有 2 个来源, 分别为苏麦 3 号和宁麦 9 号。张宏军等^[26]利用 6 个携带 *Fhb1* 基因的品种(系)分别与高感赤霉病的周麦 16 矮败小麦近等基因系杂交和回交, 对构建的 6 个回交群体进行抗赤霉病鉴定, 发现携带 *Fhb1* 基因家系整体抗性达到中感。周森平等^[27]将小麦赤霉病抗原苏麦 3 号抗病主效 QTL 导入小麦品种济麦 22, 创制了含苏麦 3 号抗赤霉病主效 QTL 的材料 18 份, 其中 4 份材料的赤霉病抗性明显提高。此外, 一些学者还开展了抗赤霉病 QTL 的聚合育种工作。许峰等^[28]将抗病主效基因 *Fhb1*、*Fhb2*、*Fhb4* 和 *Fhb5* 导入感病品种矮抗 58 中, *Fhb1*、*Fhb2*、*Fhb4* 和 *Fhb5* 聚合后, 后代综合抗性比单个基因更明显。Miedaner 等^[29]在性状优良的德国春小麦品种中导入来自 CM-82036(苏麦 3 号/Thornbird)的 2 个抗赤霉病 QTL, 发现后代有明显抗性。小麦赤霉病抗性是受多基因控制的数量性状, 而抗性鉴定受外界环境的影响较大, 且抗原来源还

基金项目 湖北省农业科技创新中心资助项目(2018-620-001-03); 国家棉花产业技术体系专项资金资助项目(CARS-18-41)。

作者简介 张华崇(1989—), 男, 河南安阳人, 农艺师, 硕士, 从事小麦和棉花抗逆育种研究。

收稿日期 2020-09-02

比较狭窄,因此利用分子技术改良小麦抗性比较可行。因此,今后要在传统育种的基础上,综合运用分子技术来提高小麦的赤霉病抗性。

2 化学防控技术

化学防控仍然是目前防治小麦赤霉病的主要手段。多菌灵等苯丙咪唑类药剂长期以来在防治小麦赤霉病方面发挥着重要的作用,但长期使用单一药剂容易导致病原菌抗药性增强。王建新等^[30]于1986—2001年监测了浙江省、江苏省、上海市和湖北省13个县(市)共194 91个小麦赤霉病菌株对多菌灵的抗药性,结果发现小麦赤霉病菌群体中存在不同比例的抗药性菌株;吴佳文等^[31]于2012—2018年监测了江苏省不同地区小麦赤霉病病菌菌株对多菌灵的抗药性频率,结果显示小麦赤霉病病菌抗药性频率呈上升趋势。

戊唑醇及其复配剂对小麦赤霉病具有很好的防治效果。何庆等^[32]于2019年开展了不同时期喷施30%唑醚·戊唑醇悬浮剂的试验,结果表明其对小麦病穗和病粒的防治效果均在80%以上;王夏军^[33]采用15%井冈·戊唑醇悬浮剂对小麦赤霉病开展田间药效试验,结果表明在小麦赤霉病重发态势下,在小麦齐穗期和齐穗后7 d各预防1次,对赤霉病的防效达88.22%。张舟娜等^[34]对30%戊唑醇·福美双悬浮剂、48%氰烯菌酯·戊唑醇悬浮剂和45%戊唑醇·咪鲜胺可湿性粉剂进行田间防效试验,结果显示3种戊唑醇复配剂对小麦赤霉病的病指防效均在70%以上,增产效果也明显优于多菌灵。430 g/L戊唑醇悬浮剂(SC)+25%氰烯菌酯SC和430 g/L戊唑醇SC+50%多菌灵可湿性粉剂(WP)喷雾处理对小麦赤霉病的防效分别为82.80%和79.07%^[35]。

此外,1998年江苏省农药研究所研制并合成了镰刀菌属专化型杀菌剂氰烯菌酯,其在小麦赤霉病防治上发挥重要的作用。高攀等^[36]开展了25%氰烯菌酯SC防治小麦赤霉病的田间药效试验,结果发现25%氰烯菌酯SC 1 500~3 000 g/hm²对小麦赤霉病的防治效果良好,病指防效在76%以上,显著高于药剂70%甲基硫菌灵WP和80%多菌灵WP的病指防效;孙友武等^[37]的试验也得到类似的结果,25%氰烯菌酯悬浮剂1 500 mL/hm²对小麦赤霉病的防治效果达79.6%;刁亚梅等^[38]于2010年在江苏省进行了25%氰烯菌酯悬浮剂防治小麦赤霉病的大田示范试验,结果显示25%氰烯菌酯悬浮剂1 500~2 250 g/hm²对小麦赤霉病的防治效果为80.10%~98.28%,均高于40%多菌灵悬浮剂1 500 g/hm²处理;韦伟等^[39]比较了几种主要杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果,结果显示25%氰烯菌酯SC 2 250 mL/hm²的病指防效最高,达到81.16%。

丙硫菌唑因其广谱杀菌特性,被广泛应用于防治小麦病害,采用田间药效试验方法,30%丙硫菌唑675 mL/hm² 2次用药防效可达92%^[34];分别用浓度375、450和525 g/hm² 480 g/L丙硫菌唑悬浮剂处理小麦,结果显示赤霉病的病指防效分别达到93.62%、94.95%和95.74%,防治效果明显^[40];丙硫菌唑溶解性好,叶片附着性强,可作为飞防药剂,研究显示30%丙硫菌唑油基悬浮剂(OD)600 g/hm²和75%

丙硫菌唑干悬浮剂(DF)300 g/hm²对小麦赤霉病的防效分别为90.91%和93.07%,明显高于40%多菌灵SC 1 875 g/hm²^[41]。

先正达公司最新研制的新型吡啶酰胺类杀菌剂氟唑菌酰胺对禾谷镰孢菌表现出较高的室内活性且田间小麦赤霉病防效较好,可考虑用其作为禾谷镰孢菌对多菌灵抗性治理的替代药剂^[42]。1 050 mL/hm²氟唑菌酰胺处理对小麦赤霉病的防效在80%以上^[43];200 g/L氟唑菌酰胺SC在小麦扬花期用药2次,结果发现它不仅能够有效防治小麦赤霉病,而且对小麦白粉病也具有很好的防治效果^[44]。

3 生物防治技术

利用有益微生物防治小麦赤霉病,有利于病害的可持续控制,具有良好的应用前景。国内外相关研究已取得很大的进展。目前具有防治小麦赤霉病功效的生防菌涵盖了细菌和真菌等多个种属。陈小洁等^[45]从杜仲中分离出104株内生细菌,对其进行拮抗细菌的筛选和鉴定,结果发现芽孢杆菌DZSG23对小麦赤霉菌具有较好的抑菌效果,抑制率达到69.04%。余桂容等^[46]从小麦叶片和穗部分离出对小麦赤霉病菌具有强拮抗作用的芽孢杆菌菌株B4和B6,对小麦赤霉病的相对防效分别达68.4%和68.9%。刘伟成等^[47]分离出8株来自中国东北嫩江小麦赤霉病流行地区小麦植株叶面和穗部的具拮抗作用的芽孢杆菌,活体菌悬浮液和灭菌后的发酵液田间防效为59.5%~65.9%,且其发酵液热稳定性好。杨洪凤等^[48]从樟树健康叶片中分离获得了内生细菌解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens* CC09),发酵液灌根处理小麦,对小麦赤霉病的防效高达90.7%。李正辉等^[49]在川麦107分离链霉菌属L16菌株,其对小麦赤霉病菌、番茄灰霉病菌、油菜核病菌和炭疽病菌等都具有拮抗作用,其发酵液在室外条件下仍保持良好的抑菌活性。管章玲等^[50]从多种植物体内及其根表土壤中分离出具拮抗效果的5株放线菌菌株NS-QCT、NS-GWCG-X、N-WM-G、N-BoCY26和N-LJG2,温室盆栽试验发现菌株NS-QCT对赤霉病菌具有明显的抑制作用。

翟梅枝等^[51]从核桃和黑核桃茎、叶和青皮中筛选到60株真菌,对小麦赤霉病菌具有抑制作用的有51株;Khan等^[52]发现从小麦花药上分离的1株隐球酵母(*Cryptococcus*)菌株OH182.9对赤霉病菌具有抑制作用,抑菌率高于77.0%;Dal Bello等^[53]从小麦根际筛选出52株细菌和6株木霉属菌株(*Trichoderma* spp.),其对小麦赤霉病菌均具有防治作用,其中1株哈茨木霉对赤霉病菌具有较强的抑制作用。

4 讨论

小麦赤霉病是世界范围内广泛流行的小麦病害,近年来由于全球气候变暖和耕作方式的变化,每年受赤霉病危害的麦区逐渐扩大,同时小麦赤霉病的流行频率也逐渐增加,也增加了病害的防治难度。目前病害防治坚持“预防为主,综合防治”方针,要严密关注麦区的天气变化情况,明确重点防控区域、关键防治田块和最佳防控时间,准确发布预报预警信息,做好病害预测和预防工作。在小麦赤霉病的防治中,以选育抗病品种为基础,综合化学药剂和生物防治等措施。

目前,我国小麦品种抗性普遍较差,还未发现对赤霉病免疫的品种,虽然在小麦近缘种属发现一些抗病种质资源,但被育种利用的抗赤霉病小麦种质材料还较少,且赤霉病抗性好的材料大多有秆高、晚熟、穗小等不良农艺性状,因此还需要进一步扩大抗病材料的筛选范围。近年来,通过分子技术定位了7个抗赤霉病主效基因,利用分子技术将主效基因导入小麦中,获得了一批抗病性改良材料。因此,利用分子技术与传统育种相结合的育种手段,将在今后小麦抗病育种中发挥重要作用。化学防治主要选用氟烯菌酯、戊唑醇、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺等药剂及其复配制剂,坚持适期用药,重视交替使用不同作用机理的药剂,延缓病菌抗药性的产生,但化学药剂的长期使用存在污染环境的风险,寻找新的病害防治技术和手段已经成为迫切需求。利用生防菌防治小麦赤霉病的措施越来越受到重视,虽然已有研究从多种植物或土壤中分离筛选出可有效防治小麦赤霉病的生防菌,但生防菌存在对施药环境要求高、药效稳定性差等问题,更早地研制开发出环境友好、高效稳定、多功能的生防菌对于最终有效控制小麦赤霉病的发生与持续流行发挥着重要作用。

参考文献

- [1] BAI G H, PLATTNER R, DESJARDINS A, et al. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat[J]. *Plant breeding*, 2001, 120(1): 1-6.
- [2] 全国小麦赤霉病研究协作组. 我国小麦赤霉病穗部镰刀菌种类、分布及致病性[J]. *上海师范学院学报*, 1984, 13(3): 69-82.
- [3] 张洁, 伊艳杰, 王金水, 等. 小麦赤霉病的防治技术研究进展[J]. *中国植保导刊*, 2014, 34(1): 24-28, 53.
- [4] 陆维忠, 程顺和, 王裕中. 小麦赤霉病研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 78-170.
- [5] 李娟, 王文立, 王峭, 等. 2009-2018年陕西省小麦区试品种(系)抗主要病害趋势分析[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(12): 1443-1449.
- [6] 张彬, 李金秀, 王震, 等. 黄淮南片麦区主栽小麦品种对赤霉病抗性分析[J]. *植物保护*, 2018, 44(2): 190-194, 198.
- [7] 王震, 李金秀, 张彬, 等. 河南省大面积种植小麦品种赤霉病抗性鉴定及品质分析[J]. *河南农业科学*, 2018, 47(4): 64-70.
- [8] 朱展望, 杨立军, 佟汉文, 等. 湖北省小麦品种(系)的赤霉病抗性分析[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(1): 137-142.
- [9] 朱展望, 朱伟伟, 佟汉文, 等. 湖北小麦品种赤霉病抗性及其在生产中的应用[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(12): 1733-1738.
- [10] 闫震, 张昊, VANDER LEE T A J, 等. 中国不同生态区 129 个小麦品种赤霉病抗性与毒素积累[C]//中国植物保护学会. 中国植物保护学会 2019 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 42.
- [11] 吴丽芳, 汪杏芬, 翁益群, 等. 普通小麦与鹅观草杂种回交后代的赤霉病抗性及其细胞遗传学研究[J]. *安徽农业科学*, 1997, 25(1): 7-10.
- [12] 陈佩度, 王兆悌, 王苏玲, 等. 将大赖草种质转移给普通小麦的研究Ⅲ. 抗赤霉病异附加系选育[J]. *遗传学报*, 1995, 22(3): 206-210.
- [13] 周建平. 携抗赤霉病基因的小麦-黑麦小片段易位的分子细胞学检测[D]. 雅安: 四川农业大学, 2004.
- [14] 陈士强, 黄泽峰, 张勇, 等. 中国春背景下长穗偃麦草抗赤霉病相关基因的染色体定位[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(5): 839-845.
- [15] WANG H W, SUN S L, GE W Y, et al. Horizontal gene transfer of *Fhb7* from fungus underlies *Fusarium* head blight resistance in wheat[J]. *Science*, 2020, 368(6493): 1-7.
- [16] WALDRON B L, MORENO-SEVILLA B, ANDERSON J A, et al. RFLP mapping of QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat[J]. *Crop science*, 1999, 39(3): 805-811.
- [17] 郜忠霞. 小麦抗赤霉病主效基因 *Fhb1* 的精确定位[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [18] LIU S Y, ANDERSON J A. Targeted molecular mapping of a major wheat QTL for *Fusarium* head blight resistance using wheat ESTs and synteny with rice[J]. *Genome*, 2003, 46(5): 817-823.
- [19] CUTHBERT P A, SOMERS D J, BRULÉ-BABEL A. Mapping of *Fhb2* on chromosome 6BS: A gene controlling *Fusarium* head blight field resistance

- in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2007, 114(3): 429-437.
- [20] QI L L, PUMPHREY M O, FRIEBE B, et al. Molecular cytogenetic characterization of alien introgressions with gene *Fhb3* for resistance to *Fusarium* head blight disease of wheat[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2008, 117(7): 1155-1166.
- [21] XUE S L, LI G Q, JIA H Y, et al. Fine mapping *Fhb4*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2010, 121(1): 147-156.
- [22] XUE S L, XU F, TANG M Z, et al. Precise mapping *Fhb5*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2011, 123(6): 1055-1063.
- [23] CAINONG J C, BOCKUS W W, FENG Y, et al. Chromosome engineering, mapping, and transferring of resistance to *Fusarium* head blight disease from *Elymus tsukushiensis* into wheat[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2015, 128(6): 1019-1027.
- [24] GUO J, ZHANG X L, HOU Y L, et al. High-density mapping of the major FHB resistance gene *Fhb7* derived from *Thinopyrum ponticum* and its pyramiding with *Fhb1* by marker-assisted selection[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2015, 128(11): 2301-2316.
- [25] 朱展望, 徐登安, 程顺和, 等. 中国小麦品种抗赤霉病基因 *Fhb1* 的鉴定与溯源[J]. *作物学报*, 2018, 44(4): 473-482.
- [26] 张宏军, 宿振起, 柏贵华, 等. 利用 *Fhb1* 基因功能标记选择提高黄淮冬麦区小麦品种对赤霉病的抗性[J]. *作物学报*, 2018, 44(4): 505-511.
- [27] 周森平, 姚金保, 张平平, 等. 黄淮麦区小麦抗赤霉病新种质的创制和筛选[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(3): 268-274.
- [28] 许峰, 李文阳, 闫素辉, 等. 小麦抗赤霉病主效 QTL 的聚合效应分析[J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(5): 585-593.
- [29] MIEDANER T, WILDE F, STEINER B, et al. Stacking quantitative trait loci (QTL) for *Fusarium* head blight resistance from non-adapted sources in an European elite spring wheat background and assessing their effects on deoxynivalenol (DON) content and disease severity[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2006, 112(3): 562-569.
- [30] 王建新, 周明国, 陆悦健, 等. 小麦赤霉病菌抗药性群体动态及其治理药剂[J]. *南京农业大学学报*, 2002, 25(1): 43-47.
- [31] 吴佳文, 杨荣明, 杨红福, 等. 江苏省小麦赤霉病菌对多菌灵抗药性发展及其治理对策研究[J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(12): 51-54, 78.
- [32] 何庆, 田坤发. 30%唑醚·戊唑醇悬浮剂不同时期预防小麦赤霉病效果研究[J]. *现代农业科技*, 2020(7): 104, 106.
- [33] 王夏军. 15%井冈·戊唑醇悬浮剂控制小麦赤霉病田间药效试验[J]. *现代农业科技*, 2020(7): 112, 114.
- [34] 张舟娜, 李阿根. 4种杀菌剂不同施药时间对小麦赤霉病的防效[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(3): 478-480, 483.
- [35] 范志业, 曹永周, 沈海龙, 等. 不同杀菌剂对小麦叶锈病和赤霉病的防治效果比较[J]. *农药*, 2020, 59(2): 140-142.
- [36] 高攀, 王涛, 李婷. 25%氟烯菌酯 SC 防治小麦赤霉病田间药效试验[J]. *现代农药*, 2018, 17(6): 52-53.
- [37] 孙友武, 蒋山, 高矿. 25%氟烯菌酯悬浮剂防治小麦赤霉病大田示范[J]. *安徽农学通报*, 2013, 19(9): 93, 150.
- [38] 刁亚梅, 陈培红, 许德华, 等. 25%氟烯菌酯悬浮剂防治小麦赤霉病大田示范试验[J]. *现代农药*, 2012, 11(3): 44-46, 50.
- [39] 王伟, 夏海生, 孙善教, 等. 几种主要杀菌剂对小麦赤霉病防治效果比较[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(11): 58-59.
- [40] 施坤, 石洲云. 多种药剂防治小麦赤霉病田间药效试验[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(4): 94-95.
- [41] 王维国, 尹维松, 冯晓霞, 等. 丙硫菌唑对小麦赤霉病的田间防效试验[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(19): 63-64.
- [42] 向礼波, 杨立军, 薛敏峰, 等. 禾谷镰孢菌对氟唑菌酰胺敏感性基线的建立及药剂田间防效[J]. *农药学报*, 2018, 20(4): 445-451.
- [43] 张倩倩, 许甫金, 杨永明, 等. 氟唑菌酰胺防治小麦赤霉病试验[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(3): 414-415.
- [44] 杨美, 王同岁, 唐兴龙. 200g/L 氟唑菌酰胺 SC 防治小麦赤霉病田间药效试验[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(18): 82-83.
- [45] 陈小洁, 王其, 张欣悦, 等. 杜仲内生细菌拮抗小麦赤霉病菌研究[J]. *浙江农业学报*, 2019, 31(5): 766-776.
- [46] 余桂容, 张敏, 叶华智. 小麦赤霉病的生物防治研究. 拮抗芽孢杆菌的分离、筛选、鉴定和防病效果[J]. *四川农业大学学报*, 1998, 16(3): 314-318.

量比常规施肥减少 4.77%，产量差异显著。平作模式下，肥料减施 25% 花生荚果产量比常规施肥减少 5.07%，产量差异显著；肥料减施 30% 花生荚果产量比常规施肥减少 8.76%，产量差异显著。这说明起垄种植模式下肥料减施 25% 未对花生的荚果产量造成显著影响，但在平作模式下，若要不影响花生荚果产量，需进一步降低肥料减施幅度。

表 1 不同处理对豫花 22 号荚果产量的影响

Table 1 Effects of different treatments on the pod yield of Yuhua 22

处理编号 Treatment code	荚果产量 Pod yield kg/hm ²	比平作处理增减 Yield increase compared with flat planting//±%	比常规施肥处理增减 Yield increase compared with conventional fertilization//±%
1	4 422.00±67.80 ab	—	—
2	4 197.45±116.25 cd	—	-5.07
3	4 030.05±158.10 d	—	-8.86
4	4 602.00±139.80 a	4.03	—
5	4 561.20±64.65 ab	8.67	-0.89
6	4 382.55±113.85 bc	8.75	-4.77

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level

3 结论与讨论

在满足花生正常生长发育对养分的需求下，起垄种植、合理减量施肥不仅不会造成花生产量的下降，而且能减少肥料投入，降低养分流失造成面源污染的风险。不同种植方式能够改变花生生长发育过程中的环境温度、水分含量、群体及耕层微生物活性等条件，进而影响花生的生理指标、品质和产量^[6-12]。丁佩峰等^[13]试验证明，在高产栽培条件下，营养充足时，植株生长茂密，起垄播种的种植方式优越性很明显。张俊等^[14-15]研究表明，在花生遭遇湿涝胁迫时，起垄能有效维护保护性酶的活性，较好地维持根系的正常生长发育和干物质的运输、积累。传统的麦后平播种植方式难以取得较高的花生产量，单一起垄处理在提高花生产量方面的作用不显著，而起垄覆膜和起垄+液态膜处理均能显著提高花生产量^[6]。该研究结果表明，在常规施肥处理下，与平作相比，起垄种植提高花生荚果产量的作用不显著；但在肥料减施 25%、30% 的情况下，起垄种植与平作相比花生荚果产量显著增加。

化肥对农作物丰产发挥着重要作用，但过量的化肥投入和粗放的施肥方式会造成土壤质量下降、板结、酸化、种植效

益低下、农田面源污染、水环境恶化等问题，不利于农业可持续发展^[16-19]。邢会花等^[20]研究表明，在花生生长过程中，减少化肥用量、增加有机肥用量同样能获得单纯施用化肥的花生产量。余金富^[21]研究表明，用商品有机肥替代 10%~20% 的化肥用量，既能增加花生荚果产量，又能增加经济收益。该研究表明，与常规施肥处理相比，平作条件下，肥料减施 25% 会显著降低花生荚果产量；但在起垄条件下，肥料减施 25% 对花生荚果产量的影响不显著。

参考文献

- [1] 杨青林, 桑利民, 孙吉茹, 等. 我国肥料利用现状及提高化肥利用率的方法[J]. 山西农业科学, 2011, 39(7): 690-692.
- [2] 冯梦诗, 谢吉先, 王书勤, 等. 绿聚能复合肥料品种及用量对花生生育和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 89-93.
- [3] 刘灿华. 河南省减肥增效区域划分及重点措施[J]. 农村. 农业. 农民(B版), 2017(8): 59-60.
- [4] 汤丰收, 张新友, 张俊, 等. 高油、高产花生新品种豫花 9326 抗旱生理特性及生产适应性研究[J]. 花生学报, 2014, 43(3): 7-12.
- [5] 曲杰, 贾振东, 程亮, 等. 花生水肥精准调控技术规程[J]. 农业科技通讯, 2020(6): 297-300.
- [6] 戴良香, 康涛, 张冠初, 等. 地膜覆盖方式对花生田土壤含水量、温度及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 72-77.
- [7] 任丽, 谷建中, 范君龙, 等. 不同种植模式和贮存时间对花生 O/L 值的影响[J]. 作物杂志, 2010(6): 67-68.
- [8] 林英杰, 李向东, 周录英, 等. 花生不同种植方式对田间土壤微环境和产量的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 131-135.
- [9] 宋伟, 赵长星, 王月福, 等. 不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7188-7195.
- [10] 林英杰, 高芳, 张佳蕾, 等. 不同种植方式对花生土壤微生物生物量及活性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2323-2328.
- [11] 杨传婷, 张佳蕾, 张凤, 等. 花生不同种植方式的耗水特点和水分利用效率差异研究[J]. 山东农业科学, 2012, 44(9): 34-37, 42.
- [12] 陈雷, 范小玉, 李可, 等. 不同种植方式对夏花生光合速率、干物质积累及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(7): 1128-1131.
- [13] 丁佩峰, 陈香艳, 唐洪杰, 等. 不同种植方式对花生功能叶光合效能的影响[J]. 农业科技通讯, 2015(12): 252-254.
- [14] 张俊, 汤丰收, 刘娟, 等. 不同种植方式生育后期湿涝胁迫对花生生物量、根系形态及产量的影响[J]. 花生学报, 2015, 44(4): 1-6.
- [15] 张俊, 汤丰收, 臧秀旺, 等. 不同种植方式花生生育后期湿涝胁迫对产量及保护性酶系统的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 46-50.
- [16] 肖起通. 三市水旱区水稻土主要肥力性状研究[J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(8): 49-52.
- [17] 游克仁. 花生的营养价值及增产措施[J]. 特种经济动植物, 2004(7): 28.
- [18] 汤向红, 王江侠, 聂国芳, 等. 探析科学施肥新模式, 实现化肥减量增效[J]. 农业开发与装备, 2018(12): 146-147.
- [19] 李子涵. 我国粮食生产中的化肥过量施用研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 245-247.
- [20] 邢会花, 禹山林, 蒋学杰. 花生化肥减量增效对比试验[J]. 特种经济动植物, 2019, 22(12): 21-22.
- [21] 余金富. 减量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.

(上接第 22 页)

- [47] 刘伟成, 潘洪玉, 席景会, 等. 小麦赤霉病拮抗性芽孢杆菌生防作用的研究[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 95-100.
- [48] 杨洪凤, 余向阳, 薛雅蓉, 等. 内生解淀粉芽孢杆菌 CC09 在小麦根部定殖的电镜观察及防病效果[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(6): 839-844.
- [49] 李正辉, 向晶晶, 陈靖鸿, 等. 小麦赤霉病拮抗菌的分离与鉴定[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(1): 149-152.
- [50] 管章玲, 辛海峰, 李建宏, 等. 小麦赤霉病拮抗菌的筛选及应用[J]. 江

苏农业学报, 2012, 28(2): 309-313.

- [51] 翟梅枝, 问小强, 刘枫, 等. 核桃属植物内生真菌的分离及其抑菌活性研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 144-147.
- [52] KHAN N I, SCHISLER D A, BOEHM M J, et al. Selection and evaluation of microorganisms for biocontrol of *Fusarium* head blight of wheat incited by *Gibberella zeae*[J]. Plant disease, 2001, 85(12): 1253-1258.
- [53] DAL BELLO G M, MÓNACO C I, SIMÓN M R. Biological control of seedling blight of wheat caused by *Fusarium graminearum* with beneficial rhizosphere microorganisms[J]. World journal of microbiology and biotechnology, 2002, 18(7): 627-636.