张　骁,王　雪,王美玲,等. 稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测研究进展[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):1-11(2025-02-21). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.001.

稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测研究进展

张　骁[1],王　雪[2],王美玲[1],丁　颖[1],汤　康[1],陈文斌[1],丁海荣[1*]
(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏 盐城 224002;2. 南京农业大学农学院国家信息农业工程技术中心,江苏 南京 210095)

摘要:作为粮食生产大国,我国粮食稳产保供对国家粮食安全意义重大,其中主粮的品质管理是稳产保供不可或缺的一环。通过估测作物籽粒品质参数,能够优化作物栽培措施,精细划分作物分类收获和分级收购的加工机制,从而提高稻、麦等谷类作物品质水平。遥感技术为稻、麦等谷类作物籽粒品质参数估测提供了快速、及时、无损的手段。本文综述了稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测的研究进展,归纳了稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测的3种主要尺度,介绍了常用的光谱解析方法,提出了目前存在的挑战,并对未来研究的发展趋势进行了讨论。

关键词:谷类作物;籽粒品质;遥感估测;研究进展
中图分类号:S51　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20250007

稻、麦等谷类作物在我国居民饮食中占据重要地位,是我国居民摄入热量和蛋白质的重要来源[1-2]。随着全球食物保障能力快速提升和经济、社会、科技的发展,以及人们生活质量的提高,稻、麦等谷类作物的高品质工业化生产在我国作物生产和加工产业中备受关注[3-4]。在国家或区域范围内快速、及时、准确地估测稻、麦等谷类作物籽粒品质参数,对优化粮食收获、库存和市场价格的有效管理都起着至关重要的作用[5]。但现有繁琐且滞后的传统方法已无法满足优化种植管理和大范围监测作物的功能需求,随着遥感技术和光谱技术的发展,具有瞬时和空间连续性的多平台、多尺度遥感数据在监测作物生长状况、估测跨区域作物产量及籽粒品质等方面有了广泛的应用[6-7]。目前,由于受到遥感模型拓展性、环境因素复杂性以及传感器限制等因素的影响,稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测研究仍有较大的拓展空间。本文对基于不同遥感尺度和光谱解析方法的稻、麦等谷类作物籽粒品质遥感估测相关研究进行了详细总结与分析,并对存在的挑战和未来研究发展趋势进行讨论。

收稿日期:2025-01-16;修回日期:2025-02-15。
基金项目:2021年度农业农村部沿海盐碱地农业科学观测实验站开放课题(YHS202110)。
作者简介:张　骁(1995—),男,硕士,研究实习员,主要从事智慧农业、高光谱遥感研究。Email: 17851602710@163.com。
* 通信作者:丁海荣(1979—),女,硕士,副研究员,主要从事饲用作物智慧栽培与利用。Email: dinghair88@163.com。

1　稻、麦等谷类作物关键品质参数

作物品质主要是指满足人类要求或特定需求的农作物目标产品的质量[8]。根据不同的个性化需求及应用场景,稻、麦等谷类作物籽粒的品质主要分为加工品质、外观品质、蒸煮食味品质和营养品质[9-10],其中,营养品质指标主要包括籽粒蛋白质含量、淀粉含量(尤其支链淀粉含量)、粗脂肪含量和其他微量元素含量等[11]。对于国家层面的粮食生产与食品安全而言,营养品质是首要考虑因素;对于消费者而言,营养品质亦是采购的关键因素[12]。

2　基于不同遥感尺度的谷类作物品质参数估测研究

作物或植被的遥感信息能够从多个尺度进行获取。按遥感平台进行分类,作物的籽粒品质参数遥感估测可以大致分为航天遥感尺度、航空遥感尺度、地面遥感尺度[13](图1)。3种遥感尺度的主要数据源、传感器型号及其优、劣势如表1所示。首先,在"大范围""大尺度"的品质参数遥感估测中,例如省(市、自治区)、国家乃至全球尺度,需要利用航天遥感平台(以卫星为主)获取遥感影像资料,将带有遥感信息的卫星影像作为基础数据源,开展作物品质参数的遥感估测;其次,在"区块"尺度,例如规模化农场、大块农田等,需要利用航空遥感平台(以无人机为主)获取遥感数据,从像元角度进行探索;再次,在地面遥感尺度,研究人员常用地面光谱传感

器获取作物冠层上方不同高度、角度的多光谱和高光谱遥感数据，结合各类光谱解析方法开展品质参数估测。由于在近地面尺度获取的数据干扰较少，亦可以作为航空、航天遥感尺度估测结果的验证数据集。近年来，还有些研究将作物器官作为研究对象，例如谷粒和稻米及其粉末、叶片、穗层、穗子、叶鞘等，利用测试环境几乎没有大气、水土背景等干扰因素的优势，提取作物品质参数敏感光谱特征，开展农业遥感的机理性研究，此类研究也归属于地面遥感尺度。基于不同尺度的遥感数据开展的作物品质参数估测研究都有各自重要的意义[14-15]。

图 1　稻、麦等谷类作物籽粒品质参数遥感估测的 3 种尺度

表 1　航天遥感尺度、航空遥感尺度、地面遥感尺度的主要特征

遥感尺度	卫星数据源	传感器型号	优势	劣势
航天遥感	Landsat	TM、ETM+、OLI 等	数据免费且开放、长期连续观测	空间分辨率有限、时间分辨率不足、易受云层和大气影响
	Terra	ASTER	宽光谱覆盖、具备立体成像能力	存在数据获取成本、易受云层和大气影响
	Quickbird	BGIS2000	高空间分辨率、历史数据丰富	数据成本高、重访周期较长
	Sentinel	Sentinel-1A、2A、Sentinel-1B、MSI	观测规模大、频率高、高空间分辨率、数据免费且开放	数据波段较少
	HJ	HJ-1A、HJ-1B、HJ-1C	具备多光谱与高光谱能力、多载荷协同观测	空间分辨率较低、数据公开性有限

（续表）

遥感尺度	卫星数据源	传感器型号	优势	劣势
航空遥感	数码相机	Sony a6000、DJI Phantom4 等	价格低、操作简单、数据处理简便	波段有限、易受光线影响、估测精度较低
	多光谱相机	Mini-MCA、Airphen 等	价格适中、操作简单、波段数适中	光谱分辨率低、需要辐射校正、易受光线影响
	高光谱相机	HeadWall Nano-Hyperspec	波段多、光谱分辨率高	价格昂贵、操作复杂、易受光线影响、数据量大且处理复杂
	热红外相机	Zenmuse XT2	可获取温度信息，实现胁迫监测	需要频繁校准温度、易受环境影响
	激光雷达	LIDAR	丰富的点云数据、不受天气影响	价格昂贵、数据量大且处理复杂
地面遥感	多光谱仪	CropScan MSR-16	轻量化设计、具有良好的便携性和易用性	光谱波段较少
	高光谱仪	FieldSpec Pro FR	宽光谱范围、高光谱分辨率、数据采集快速	便携性较差

2.1　航天遥感尺度

卫星遥感平台作为最早的定量遥感平台，相关研究可追溯到 20 世纪 70 年代，它开始主要用于农业遥感监测[16]。卫星遥感在大规模作物生长监测、作物产业结构规划和作物品质估测方面具有不可比拟的优势。在农业生产领域，卫星影像是遥感成本最低、最方便、规模最大的数据源[17]。通常，基于单个或多个数据源的卫星影像遥感数据，使用卫星波段反射率或基于波段反射率构建植被指数，常用的植被指数有比值植被指数（ratio vegetation index，RVI）、差值植被指数（difference vegetation index，DVI）、土壤调整植被指数（soil adjusted vegetation index，SAVI）、归一化植被指数（normalized difference vegetation index，NDVI）等。将植被指数作为输入变量，利用光谱分析法直接估测作物品质参数，或利用模型耦合法与其他非遥感数据结合，完成作物籽粒品质参数的估测[18]。

2.1.1　基于卫星影像光谱参数的品质估测。在利用光谱参数开展的作物品质参数估测研究中，水稻、小麦、大麦等谷类作物一直是研究热点，表 2 展示了相关研究的关键信息。其原理是：利用在卫星遥感影像中提取的光谱反射率建立光谱指数，将光谱指数与作物品质参数直接建立回归关系，从而构建遥感模型。美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA）陆地资源卫星（Landsat）发射时间较早，其 TM 卫星数字产品得到了广泛应用[19]。除 Landsat 卫星外，由日本在 1999 年发射的 Terra 卫星上搭载的 ASTER 传感器也在作物品质参数估测上有出色的表现[20]。尽管由于年际扩张和不同地理区域环境存在较大偏差等因素，但农业农村部农业遥感机理与定量遥感重点实验室已证明 Sentinel-2A 数据在冬小麦籽粒蛋白质含量估测中有更高的可靠性[21]。

在国内方面，利用 TM 卫星影像构建归一化植被指数 NDVI、绿光归一化植被指数 GNDVI、土壤调整植被指数 SAVI 等光谱指数，可以完成冬小麦籽粒蛋白质含量和淀粉含量的估测[22-23]。宋晓宇等还以 ASTER 卫星影像数据为基础，对冬小麦籽粒关键品质参数完成了估测[24]。QuickBird 作为一颗高分辨率的商业地球观测卫星，拥有更高的空间分辨率，结合作物品质相关农学实测数据，能构建出更高精度的冬小麦籽粒蛋白质含量估测模型[25]。

尽管卫星遥感数据在粮食作物品质参数估测方面具有高效、大范围观测的优势，但卫星影像易受水汽、云层、双向反射分布现象和混合像元等因素的影响[26]，故卫星在田块尺度的作物品质参数估测中的应用受限。

2.1.2　基于模型耦合法的品质估测。影响稻、麦等谷类作物籽粒品质的因素十分复杂。首先，作物籽粒品质的形成受作物品质生化组分多样性的影响；其次，种质资源遗传因素及其生长发育的生态环境也决定着品质相关物质的形成[29]。基于此问题，利用作物生长模型构建多因子的综合估测模型显得十分关键。很多学者开始探索将遥感技术与作物生长

模型进行结合，表 3 展示了基于模型耦合法的作物籽粒品质估测相关研究关键信息。基于模型耦合法的作物籽粒品质估测，可以汇总并分析气象数据、农学数据和遥感数据之间的复杂关联，能解释以遥感为内核的农学指标估测机理[30]。

表 2　基于卫星影像光谱参数的作物品质估测

对象作物	卫星	最佳时期	光谱参数	最佳精度	参考文献
小麦	Landsat	开花期	波段 2	R^2 = 0.71	[20]
小麦	Sentinel	开花期	倒红边叶绿素指数 IREC	R^2 = 0.46	[21]
小麦	Landsat	孕穗期	归一化植被指数 NDVI	R^2 = 0.77	[22]
小麦	Landsat	孕穗期	归一化植被指数 NDVI	R^2 = 0.82	[23]
小麦	Aster	灌浆期	波段 2	R^2 = 0.64	[24]
小麦	Quickbird	孕穗期	绿色归一化植被指数 GNDVI	R^2 = 0.53	[25]
小麦	Landsat	开花期	波段 5/ 波段 3	R^2 = 0.76	[27]
水稻	Sentinel	灌浆期	波段 5	R^2 = 0.65	[28]

表 3　基于卫星影像遥感数据与模型耦合的作物品质估测

对象作物	卫星	光谱参数	耦合参数	最佳精度	参考文献
小麦	Sentinel-2	增强植被指数 EVI	ECMWF 数据	R^2 = 0.48	[31]
小麦	Landsat	归一化植被指数 $NDVI_{3,4}$	温度、日照、土壤含水量等	均方根误差 =3.59	[32]
小麦	Landsat	归一化植被指数 $NDVI_{3,4}$	温度、土壤含水量等	均方根误差 =0.47	[33]
小麦	HJ1A/B	绿色归一化植被指数 GNDVI	温度、降雨、日照等	R^2 = 0.84	[34]

通过将遥感数据与气象数据耦合，如欧洲中期天气预报中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts，ECMWF）相关气象数据，基于此数据构建的作物品质估测模型具有良好的准确性和稳定性[31]。李卫国等完成了遥感参数和气候环境参数的耦合，通过利用小麦拔节期和灌浆期 Landsat TM 卫星影像数据提取的归一化植被指数 NDVI，与小麦植株氮素转运的动态规律进行综合分析，构建了小麦籽粒蛋白质含量及淀粉含量的估算模型[32-33]。我国发射的“环境一号”卫星系统拥有 2 颗光学卫星（HJ-1A 和 HJ-1B），利用该卫星影像数据，结合温度、湿度、降水、光照和地力等生态因子监测小麦长势，能够构建小麦籽粒蛋白质含量估测模型，这种结合了生态环境因素的作物籽粒品质参数遥感估测模型精度更高[34]。作物生长模型在作物品质估测上起着至关重要的作用[35]。

与生态环境因素相结合的作物籽粒品质参数遥感估测能够提高估测精度，且所构建的估测模型相较经验模型而言，有更深入的生理意义及农学机理，但也存在缺陷。此方法在建模过程中涉及的自然环境因素过多，比如温度、气温日较差、土壤肥力、降水、光照等，输入变量过多致使模型无法应用于存在空间差异的地区，外推应用较为困难。

由于空间分辨率、光谱变异性较低，在实际工作中卫星很难获取到目标作物的纯净像元，卫星影像的像元大多存在混合像元。卫星遥感在监测“小尺度”（田块尺度）的作物生长状况时，特别是在作物品质方面存在明显的不足，无人机对解决此问题有其突出优势。

2.2　航空遥感尺度

在农业遥感中，无人机平台成功地将农业信息从“点”转换为“区域”。近年来，携带各类传感器的无人机在农业生产中得到了广泛的应用。除了直接或间接构建作物品质估测模型外，无人机平台还通过指导田间水肥管理以及作物收获期来提高作物品质，许多研究使用无人机和气象数据来实现田间小麦、水稻等谷类作物生物量及籽粒品质参数的估测[36-37]。有学者基于无人机高光谱图像，利用多维欧几里得距离方法完成水稻籽粒蛋白质含量估测，估测模型精度 R^2 在 0.8 以上[38]。随着无人机技术的发

展，已有科技公司制造出搭载成像光谱仪的无人机整机，例如大疆精灵 4 多光谱无人机，该无人机搭载多光谱成像系统，利用其获取的影像结合多元线性回归方法，可以完成水稻籽粒蛋白质含量的估测[39]。利用无人机估测作物籽粒品质参数的研究如表 4 所示。

随着无人机技术的迅速发展和广泛应用，无人机搭载的传感器也在不断创新和进步。多光谱和高光谱传感器可以同时捕获覆盖可见光和近红外范围的多个离散或连续波段的光谱信息。它们在监测作物生长状况、营养水平以及病虫害状况方面具有巨大优势，在作物品质估测方面也有很大的发展潜力。相较于卫星和近地面尺度，无人机介于二者之间，虽然光谱分辨率低于近地面尺度，但无人机数据具有图像和光谱兼备的特点，且一定的飞行高度亦保证了大范围的无人机影像获取。综上，在监测作物生长指标和品质参数方面，无人机具有很高的实际应用价值。

表 4　基于无人机遥感的作物品质估测

对象作物	无人机传感器型号	最佳时期	光谱参数	最佳精度	参考文献
小麦	EBee-SQ	抽穗期	红光边缘指数 $CI_{red-edge}$	$R^2 = 0.76$	[37]
水稻	DJI-M600Pro-Rikola	抽穗期	比值植被指数 $RVI_{536,624}$	$R^2 = 0.80$	[36]
水稻	DJI S1000-Cubert UHD185	抽穗期	红光边缘指数 $CI_{red\ edge}$	$R^2 = 0.96$	[38]
水稻	DJI 精灵 4	拔节期	比值植被指数 $RVI_{NIR/R}$	$R^2 = 0.75$	[39]
水稻	DJI-Mavic Pro	抽穗期	过绿指数 ExG	$R^2 = 0.32$	[40]

2.3　地面尺度

在过去的 20 年里，地面平台上的遥感技术已被广泛应用于农业领域，例如估测作物生长参数、绘制作物产量分布图和诊断土壤信息等。在近地面尺度，通常使用高光谱地物光谱仪，如FieldSpec Pro FR 光谱辐射计（Analytical Spectral Devices，Boulder，CO，USA）（以下简称 ASD）或多光谱地物光谱仪如 CropScan MSR-16（CropScan 股份有限公司，美国）获取可见光波段、近红外波段的反射光谱信息，基于丰富的光谱信息开展作物生长参数估测研究。近地面尺度的稻、麦等谷类作物籽粒品质参数估测研究大体上可分为直接估测和间接估测。

2.3.1　直接估测。在近地面尺度开展作物品质参数直接估测的原理：以作物的冠层反射光谱为基础数据源，利用多种光谱分析方法提取出对品质参数敏感的光谱特征，例如反射率、反射率的一阶导数、二阶导数、植被指数、小波系数等，直接与品质参数建立回归关系，构建品质参数直接估测模型。直接估测模型输入参数较少，方法整体简单易行，一直都是农业遥感的研究重点，水稻、小麦等粮食作物更是研究热点。有研究利用多光谱数据结合偏最小二乘法，建立了春大麦籽粒产量和籽粒蛋白质含量的估测模型，但精度较低[41]。Humburg 等基于冠层光谱利用波段筛选方法构建了植被指数与甜菜根蔗糖可采浓度的拟合关系[42]。基于近地面获取冠层光谱的农学参数直接估测应用非常广泛，李映雪利用小麦冠层上方 1 m 处的反射光谱，对小麦叶片氮含量、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、碳氮比及籽粒相关品质参数完成了较高精度的估测[43]。周冬琴用同样的方法完成了水稻的相关研究[44]。但基于冠层光谱的作物品质参数直接估测所建立的模型属于经验性的统计模型，它在优势突出的情况下，亦存在缺陷，经验模型通常鲁棒性较差，估测模型的区域适用性较差。田永超等认为，利用冬小麦抽穗期冠层反射光谱 1 500、610 nm 处反射率构建的比值植被指数与冬小麦籽粒粗蛋白积累量相关性最高[45]。但其他研究发现，对小麦籽粒粗蛋白积累量最敏感的光谱参数是 870、560 nm[43]。由此可见，利用波段筛选方法构建的估测模型可推广性较差，且缺乏相应的农学机理。基于近地面尺度冠层反射光谱的稻、麦等谷类作物籽粒品质参数的直接估测具体研究情况如表 5 所示。

2.3.2　间接估测。对于稻、麦等谷类作物而言，其冠层反射光谱的可见光波段和近红外波段具有特殊的光谱特征，400 ~ 700 nm 波段的反射率主要受叶绿素等植物色素对光吸收的影响，而 600 ~ 900 nm 波段的反射率受叶片叶肉细胞结构的影响，这些特征对生长指标的估测有着重要意义。在作物近地面尺度高光谱研究初期，利用反射率构建的植被指数估测叶片叶绿素浓度与氮浓度是研究的热点与重点。根

据碳氮转运规律，作物叶片或整个植株中的氮素与籽粒蛋白质的形成密切相关[49]，而叶片或植株叶绿素浓度与氮浓度高度相关[50]。据此，可以叶片或植株叶绿素、氮素与籽粒蛋白质的关联性为基础，开展稻、麦等谷类作物籽粒蛋白质含量的间接估测研究，其原理是：以叶片叶绿素含量或氮含量为模型的“连接点”，将植被指数与作物籽粒蛋白质进行“连接”并构建模型。间接估测使模型更具有农学机理性，也广泛地应用在水稻和小麦籽粒蛋白质含量估测中，具体研究的关键信息如表 6 所示。

表 5　基于冠层光谱的作物品质直接估测

对象作物	传感器型号	最佳时期	光谱参数	最佳精度	参考文献
大麦	CropScan-MSR-87	—	归一化植被指数 NDVI	R^2 = 0.75	[41]
小麦	ASD	灌浆期	归一化植被指数 $NDVI_{1\,650,810}$	R^2 = 0.39	[43]
小麦	Cropscan-MSR-16	开花期	比值植被指数 $RVI_{1\,500,610}$	R^2 = 0.94	[45]
小麦	Cropscan-MSR-16	开花期	归一化植被指数 $NDVI_{1\,650,510}$	R^2 = 0.88	[46]
小麦	ASD	花后 18 d	植物色素比率 PPR	R^2 = 0.97	[47]
水稻	Cropscan-MSR-16	孕穗期	差值植被指数 $DVI_{1\,500,950}$	R^2 = 0.81	[44]
水稻	ASD	开花期	差值植被指数 $DVI_{810,450}$	R^2 = 0.66	[48]

表 6　基于冠层光谱的作物品质间接估测

研究对象	“连接”参数	传感器型号	光谱参数	最佳精度	参考文献
小麦	叶片氮含量	ASD	红边位置指数 REP	R^2 = 0.89	[51]
小麦	第一、二叶组之间叶绿素含量差值	ASD	560 nm 反射峰高度 $P\text{-}depth_{560}$	R^2 = 0.78	[52]
大麦	植株氮含量	ASD	红绿植被指数 GRVI	R^2 = 0.67	[53]
水稻	叶片叶绿素含量	Cropscan-MSR-16、ASD	差值植被指数 $DVI_{1\,100,760}$	R^2 = 0.80	[44]

基于作物器官光谱的作物籽粒品质遥感研究未有明确的定义及分类。近年来，针对水稻、小麦等作物穗子、谷粒、籽粒干粉及其他器官光谱的研究也逐渐兴起且精度更高[54]。但是作物器官光谱获取操作相对繁琐，且此类研究对光谱测试环境的要求更高，故基于作物器官光谱的研究更适合用于探索作物籽粒品质参数估测的农学机理。

3　光谱处理方法

3.1　“三边”参数

“三边”参数通常指红边、蓝边和黄边。红边、蓝边和黄边等参数是基于光谱波段位置的变量。以红边为例，红边是指 680 ~ 760 nm 内最大一阶微分值，红边位置是指 680 ~ 760 nm 内最大一阶微分值所对应的波长数值，红边面积是指红边内一阶微分值的总和。利用“红边”参数对作物的生长参数进行估测，是遥感监测作物长势与估产的重要技术之一。Horler 等首先提出“红边”位置在植被叶绿素含量估测中的作用[55]。随后，众多学者利用“红边”相关参数对水稻植被冠层总叶绿素含量、水稻产量、油松林针叶叶绿素含量及稻、麦等谷类作物籽粒品质等农学参数完成估测[56-57]。

3.2　植被指数和光谱波段优化

估测作物生长参数的有效方法是利用卫星多光谱通道影像、无人机多光谱数据、光谱仪高光谱数据的反射率，通过不同的计算方式得到植被指数。针对研究的参数，利用特定的植物生理学等原理，将反射光谱中与之相对应的敏感光谱波段进行组合计算得到特定的光谱指数。以归一化植被指数为例，其具体波段组合方式为：

$$I_{NDVI}=(R_{\lambda a}-R_{\lambda b})/(R_{\lambda a}+R_{\lambda b})。\tag{1}$$

式中：I_{NDVI} 表示归一化植被指数；$R_{\lambda a}$ 表示波段 a 处的高光谱反射率；$R_{\lambda b}$ 表示波段 b 处的高光谱反射率。

关于常用植被指数的物理意义、特点及用途，在黄敬峰等《水稻高光谱遥感实验研究》[58]一书中有详尽介绍，这里不再赘述。除了常用的已经被创造

出的植被指数外，亦可参照多光谱植被指数的构建方法，利用光谱波段优化方法来构建任意 2 个或多个波段的高光谱植被指数，即固定算法公式，带入多种波段进行排列组合。有研究利用光谱波段优化方法构建了新的用于估测水稻籽粒蛋白质含量、淀粉含量的植被指数：归一化蛋白质指数（normalized difference protein index，NDPI）、归一化直链淀粉指数（normalized difference amylose index，NDAI）[54]。

3.3　连续小波分析

小波分析是一种提取高光谱数据中弱信息的强力技术，通过利用伸缩平移计算对信号（函数）逐步进行多尺度分解，从而可聚焦到信号的任意细节，是一种针对非平稳、非线性信号的时频局部化分析方法[59]。小波分析大体分为连续小波分析和离散小波分析，连续小波分析能够去除部分噪音的干扰，起到数据平滑的作用。在农业遥感中，连续小波分析应用较多[60]。

利用连续小波分析作为植被反射光谱分析技术，可以将光谱信号分解成不同频率的子信号，通过平移和缩放的母小波函数与反射率光谱数据进行卷积运算，得到不同尺度下的小波系数，数学表达为：

$$\psi a,b(\lambda)=\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\frac{(\lambda-b)}{a}; \tag{2}$$

$$Wf(a,b)\leqslant f,\psi a,b\geqslant\int_{-\infty}^{+\infty}f(\lambda)\psi a,b(\lambda)d\lambda。 \tag{3}$$

式中：$\psi(\lambda)$为波函数；$\psi a,b(\lambda)$为平移和缩放后的母小波函数，a 为缩放因子，也称为尺度，b 为平移因子，λ 为光谱波段；$f(\lambda)$为光谱反射率数据。

有研究展示了小波分析的基本工作流程，如图 2 所示，图 2-A 是水稻米粉反射光谱，图 2-B 是经连续小波分析处理的不同尺度下的小波系谱图，而图 3-C 中红色区域代表被筛选出的、与水稻籽粒蛋白质含量相关前 1%的敏感小波系数（特征）的尺度与波长[54]。

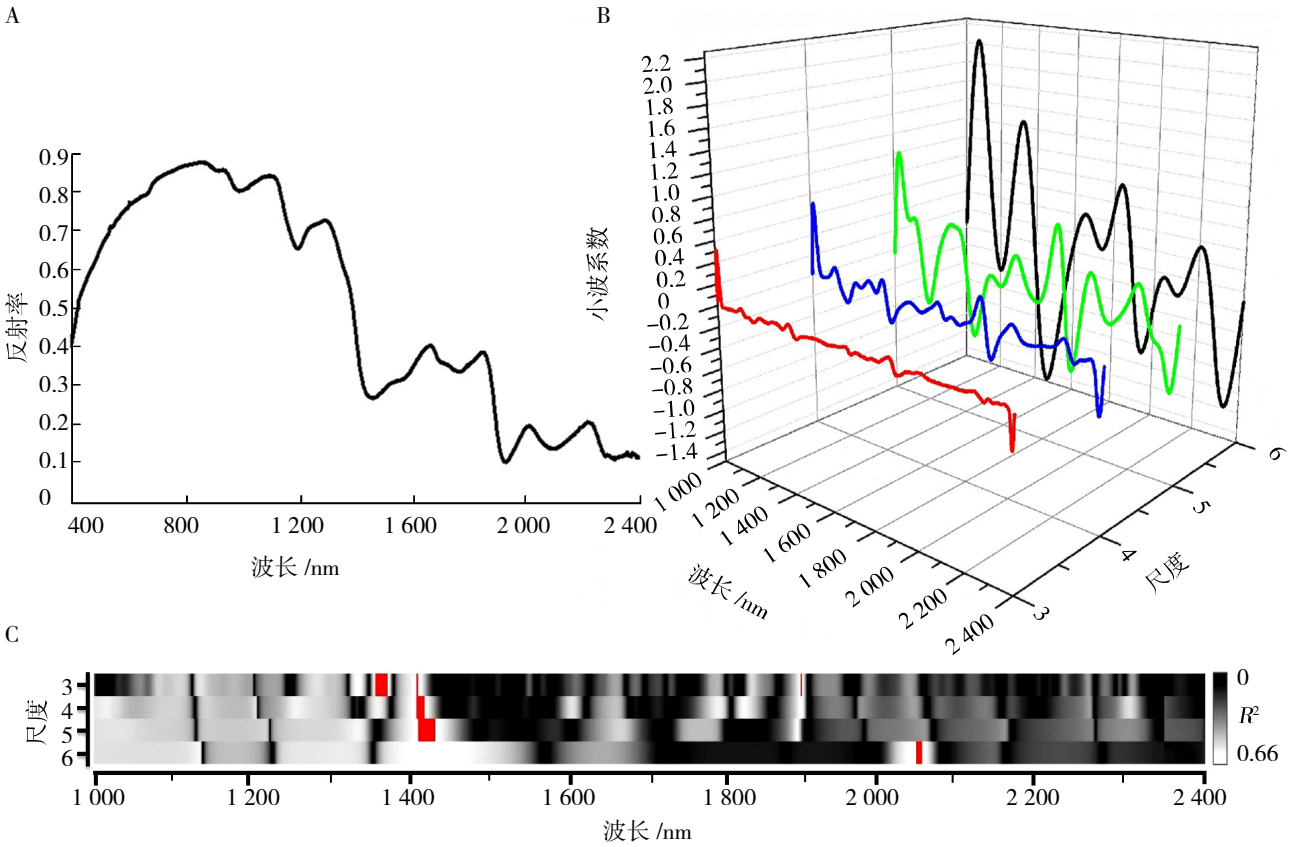


图 2　水稻米粉反射光谱（A）、不同尺度下的小波系谱图（B）及水稻籽粒蛋白质敏感小波特征分布图（C）[54]

农业遥感研究大多利用小波分析方法对作物的冠层[61]、叶片[62]、穗器官[54]的光谱信号进行分解，提取相关农学参数的敏感光谱特征，并构建估算模型。Cheng 等利用连续小波分析技术在农业遥感领域取得较多成果[63-65]。Li 等利用小波分析创造新的红边位置提取技术“WREP”[66]，并将 PROSPECT[67]和去水法（water-removal technique）[68]分别与连续小波分析融合使用，增强了对稻、麦叶片生理生化参数敏感光谱特征的探测。小波分析为农业遥感领域增加了一个全新的维度[65]。

4　挑战与展望

目前，小麦、大麦、水稻和玉米等粮食作物品质参数是遥感估测的主要对象，对经济作物、饲用作物等作物品质参数的遥感估测研究较少。在作物品质参数中，籽粒蛋白质含量自始至终受到广泛的研究关注，而关于作物籽粒干湿面筋含量、糊化度、谷物沉降率和其他加工品质、外观品质等品质参数的遥感估测研究仍然相对较少。在今后的研究中，应对更多作物的不同类型品质参数进行研究探索。

目前基于遥感数据的稻、麦等谷类作物籽粒蛋白质含量估测在很大程度上依赖于籽粒内部蛋白质与叶片氮或叶绿素之间的关系。但实际上，其他品质参数的形成机制不仅与碳、氮的转运有关，还受到许多其他因素的影响，因此，经验模型很难通过简单算法阐明遥感数据与品质参数之间的关系，还需要结合地面观测数据、环境因素以及丰富的农艺、植物生理专业知识和经验进行综合分析，并采用更精确、更具机理性的建模方法来模拟多种性状的形成机制和相互作用机制。经验模型还存在普适性较差的缺点，后续应致力于物理模型的开发应用。

机器学习方法，如支持向量机（support vector machine）、人工神经网络（artificial neural nets）和随机森林（random forest）分析，已被广泛用于整合多源遥感数据输入变量，包括融合植被指数和基于地基雷达所导出的作物高度参数、结构度量[69]或高光谱影像纹理参数[70]。机器学习方法，如 XGBoost、随机森林和神经网络等方法，其原理类似将大量数据放进“黑箱子”让其自动运行，尽管机器学习算法具有出色的计算性能，但构建可靠的系统依赖于大量用于训练的数据集，这些数据集的收集成本极高，并且其普适性还未被验证[14]。深度学习（deep learning）是机器学习（machine learning）领域中新的研究方向，通过在模型中添加更多的网络层的方式，将传统机器学习方法进行扩展[71]。深度学习已经广泛应用于植物病虫害监测[72]、农作物种植类型遥感精细分类识别[73]、生育期图像识别等研究。探索深度学习方法是未来作物籽粒品质参数估测研究的重点工作。

参考文献：

[1] 徐春春，纪　龙，陈中督，等. 2022 年我国水稻产业发展分析及 2023 年展望[J]. 中国稻米，2023，29(2)：1-4.

[2] 蒋小忠，王龙俊，束林华. 江苏省小麦增产原因探讨及发展建议[J]. 中国农技推广，2024，40(8)：3-5.

[3] LEE B H，KENKEL P，BRORSEN B W. Pre-harvest forecasting of county wheat yield and wheat quality using weather information[J]. Agricultural and Forest Meteorology，2013，168：26-35.

[4] FU Y Y，YANG G J，PU R L，et al. An overview of crop nitrogen status assessment using hyperspectral remote sensing：Current status and perspectives[J]. European Journal of Agronomy，2021，124：126241.

[5] LI Z H，TAYLOR J，YANG H，et al. A hierarchical interannual wheat yield and grain protein prediction model using spectral vegetative indices and meteorological data[J]. Field Crops Research，2020，248：107711.

[6] BERGER K，VERRELST J，FÉRET J B，et al. Crop nitrogen monitoring：recent progress and principal developments in the context of imaging spectroscopy missions[J]. Remote Sensing of Environment，2020，242：111758.

[7] FU Y Y，YANG G J，LI Z H，et al. Progress of hyperspectral data processing and modelling for cereal crop nitrogen monitoring[J]. Computers and Electronics in Agriculture，2020，172：105321.

[8] 王纪华，李存军，刘良云，等. 作物品质遥感监测预报研究进展[J]. 中国农业科学，2008，41(9)：2633-2640.

[9] 田文涛，胡玉婷，严　鹏，等. 灌浆期高温对水稻不同粒位籽粒品质的影响[J]. 山东农业科学，2024，56(12)：16-25.

[10] THOMAS R，WAN-NADIAH W A，BHAT R. Physiochemical properties，proximate composition，and cooking qualities of locally grown and imported rice varieties marketed in Penang，Malaysia[J]. International Food Research Journal，2013，20：1345-1351.

[11] ZHOU Z，ROBARDS K，HELLIWELL S，et al. Ageing of stored rice：changes in chemical and physical attributes[J]. Journal of Cereal Science，2002，35(1)：65-78.

[12] 金　瑾. 生物育种对中国粮食安全的贡献和挑战[J]. 分子植物育种，2024，22(17)：5911-5916.

[13] 梅安新，彭望琭，秦其明，等. 遥感导论[M]. 北京：高等教育出版社，2001：4-5.

[14] LI Z H,FAN C Z,ZHAO Y,et al. Remote sensing of quality traits in cereal and arable production systems:a review[J]. The Crop Journal,2024,12(1):45-57.

[15] 赵春江. 农业遥感研究与应用进展[J]. 农业机械学报,2014,45(12):277-293.

[16] 梁顺林. 中国定量遥感发展的一些思考[J]. 遥感学报,2021,25(9):1889-1895.

[17] MORAN M S,INOUE Y,BARNES E M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management[J]. Remote Sensing of Environment,1997,61(3):319-346.

[18] WANG L G,TIAN Y C,YAO X,et al. Predicting grain yield and protein content in wheat by fusing multi-sensor and multi-temporal remote-sensing images[J]. Field Crops Research,2014,164:178-188.

[19] 覃志豪,ZHANG M H,KARNIELI A,等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):456-466.

[20] BASNET B B,APAN A A,KELLY R M,et al. Relating satellite imagery with grain protein content[J]. Journal of Spatial Sciences,2003,80:22-27.

[21] ZHAO H T,SONG X Y,YANG G J,et al. Monitoring of nitrogen and grain protein content in winter wheat based on sentinel-2A data[J]. Remote Sensing,2019,11(14):1724.

[22] 李存军. 区域性冬小麦籽粒蛋白含量遥感监测技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2005:142-144.

[23] 谭昌伟,王纪华,黄文江,等. 基于 TM 和 PLS 的冬小麦籽粒蛋白质含量预测[J]. 农业工程学报,2011,27(3):388-392.

[24] 宋晓宇,黄文江,王纪华,等. ASTER 卫星遥感影像在冬小麦品质监测方面的初步应用[J]. 农业工程学报,2006,22(9):148-153,273.

[25] 宋晓宇,王纪华,黄文江,等. 变量施肥条件下冬小麦长势及品质变异遥感监测[J]. 农业工程学报,2009,25(9):155-162.

[26] HUETE A,DIDAN K,MIURA T,et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sensing of Environment,2002,83(1):195-213.

[27] 丁锦峰,朱新开,王君婵,等. 基于开花期卫星影像的春性中、弱筋小麦籽粒蛋白质含量遥感预测[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2015,30(6):932-940.

[28] 王　岩,高美琦,李荣平,等. Sentinel-2 遥感影像在盘锦水稻米质监测中的应用研究[J]. 中国稻米,2024,30(6):74-81.

[29] 莫惠栋. 我国稻米品质的改良[J]. 中国农业科学,1993,26(4):8-14.

[30] 王人潮,王　珂,沈掌泉,等. 水稻单产遥感估测建模研究[J]. 遥感学报,1998,2(2):119-124.

[31] XU X B,TENG C,ZHAO Y,et al. Prediction of wheat grain protein by coupling multisource remote sensing imagery and ECMWF data[J]. Remote Sensing,2020,12(8):1349.

[32] 李卫国,王纪华,赵春江,等. 利用卫星遥感进行冬小麦籽粒淀粉含量监测研究[J]. 云南农业大学学报,2007,22(3):365-369.

[33] 李卫国,王纪华,赵春江,等. 基于 NDVI 和氮素积累的冬小麦籽粒蛋白质含量预测模型[J]. 遥感学报,2008,12(3):506-514.

[34] 王大成,张东彦,李宇飞,等. 结合 HJ1A/B 卫星数据和生态因子的籽粒品质监测[J]. 红外与激光工程,2013,42(3):780-786.

[35] 曹卫星,朱　艳,汤　亮,等. 数字农作技术[M]. 北京:科学出版社,2008:72-73.

[36] 谢莉莉. 水稻品质多平台高光谱遥感估测方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2021:67-72.

[37] 张嘉懿. 基于固定翼无人机影像的小麦生长诊断与氮肥调控研究[D]. 南京:南京农业大学,2020:33-40.

[38] ZHANG J,SONG X Y,JING X,et al. Remote sensing monitoring of rice grain protein content based on a multidimensional euclidean distance method[J]. Remote Sensing,2022,14(16):3989.

[39] 彭显龙,武文宇,董　强,等. 基于无人机多光谱影像的寒地水稻品质估测[J]. 植物营养与肥料学报,2024,30(1):12-26.

[40] 周立鸣,邵小龙,徐　文. 基于消费级无人机监测水稻成熟度研究[J]. 粮食科技与经济,2019,44(12):44-48.

[41] HANSEN P M,JØRGENSEN J R,THOMSEN A. Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression[J]. The Journal of Agricultural Science,2002,139(3):307-318.

[42] HUMBURG D S,LAMB J A,STANGE K W,et al. Modeling of sugarbeet quality variables from canopy spectral indices in a fertility trial[J]. Transactions of the Asae American Society of Agricultural Engineers,2002,45(5):1651-1659.

[43] 李映雪. 基于冠层反射光谱的小麦氮素营养与籽粒品质监测[D]. 南京:南京农业大学,2005:93.

[44] 周冬琴. 基于冠层反射光谱的水稻氮素营养与籽粒品质监测[D]. 南京:南京农业大学,2007:86.

[45] 田永超,朱　艳,曹卫星,等. 利用冠层反射光谱和叶片 SPAD 值预测小麦籽粒蛋白质和淀粉的积累[J]. 中国农业科学,2004,37(6):808-813.

[46] 薛利红,朱　艳,张　宪,等. 利用冠层反射光谱预测小麦籽粒品质指标的研究[J]. 作物学报,2004,30(10):1036-1041.

[47] WANG Z J,WANG J H,LIU L Y,et al. Prediction of grain protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) using plant pigment ratio (PPR)[J]. Field Crops Research,2004,90(2/3):311-321.

[48] 谢晓金,李秉柏,朱红霞. 利用高光谱数据估测不同温度

胁迫下的水稻籽粒中粗蛋白和直链淀粉含量[J]. 农业现代化研究,2012,33(4):481-484.

[49] BUCHNER P,TAUSZ M,FORD R,et al. Expression patterns of C- and N-metabolism related genes in wheat are changed during senescence under elevated CO_2 in dry-land agriculture[J]. Plant Science,2015,236:239-249.

[50] 郑　强,王志敏,蔡永旺,等. 夏玉米叶片叶绿素含量的时空动态及其与植株含氮率关系的研究[J]. 玉米科学,2008,16(6):75-78.

[51] 黄文江,王纪华,刘良云,等. 冬小麦品质的影响因素及高光谱遥感监测方法[J]. 遥感技术与应用,2004,19(3):143-148.

[52] 卢艳丽,李少昆,王纪华,等. 基于冠层光谱的不同株型冬小麦籽粒蛋白质预测模型[J]. 农业工程学报,2007,23(9):147-153.

[53] 顾志宏. 基于高光谱的大麦籽粒蛋白质含量遥感预测[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(2):435-438.

[54] 张　骁,闫　岩,王文辉,等. 基于小波分析的水稻籽粒直链淀粉含量高光谱预测[J]. 作物学报,2021,47(8):1563-1580.

[55] HORLER D N H,BARBER J,BARRINGER A R. Effects of heavy metals on the absorbance and reflectance spectra of plants[J]. International Journal of Remote Sensing,1980,1(2):121-136.

[56] CURRAN P J,WINDHAM W R,GHOLZ H L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine leaves[J]. Tree Physiology,1995,15(3):203-206.

[57] 史冰全,张晓丽,白雪琪,等. 基于“三边”参数的油松林叶绿素估算模型[J]. 东北林业大学学报,2015,43(5):80-83.

[58] 黄敬峰,王福民,王秀珍. 水稻高光谱遥感实验研究[M]. 杭州:浙江大学出版社,2010:42-45.

[59] 张　平,潘学萍,薛文超. 基于小波分解模糊灰色聚类和 BP 神经网络的短期负荷预测[J]. 电力自动化设备,2012,32(11):121-125,141.

[60] CHENG T,RIVARD B,SANCHEZ-AZOFEIFA G A,et al. Continuous wavelet analysis for the detection of green attack damage due to mountain pine beetle infestation[J]. Remote Sensing of Environment,2010,114(4):899-910.

[61] 宋开山,刘殿伟,王宗明,等. 基于小波分析的玉米叶绿素 a 与 LAI 高光谱反演模型研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2011,27(2):154-160.

[62] 方美红,居为民. 基于叶片光学属性的作物叶片水分含量反演模型研究[J]. 光谱学与光谱分析,2015,35(1):167-171.

[63] CHENG T,RIVARD B,SÁNCHEZ-AZOFEIFA G A,et al. Spectroscopic determination of leaf water content using continuous wavelet analysis[J]. Remote Sensing of Environment,2011,115(2):659-670.

[64] CHENG T,RIAÑO D,USTIN S L. Detecting diurnal and seasonal variation in canopy water content of nut tree orchards from airborne imaging spectroscopy data using continuous wavelet analysis[J]. Remote Sensing of Environment,2014,143:39-53.

[65] CHENG T,RIVARD B,SÁNCHEZ-AZOFEIFA A G,et al. Deriving leaf mass per area (LMA) from foliar reflectance across a variety of plant species using continuous wavelet analysis[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2014,87:28-38.

[66] LI D,CHENG T,ZHOU K,et al. WREP:a wavelet-based technique for extracting the red edge position from reflectance spectra for estimating leaf and canopy chlorophyll contents of cereal crops[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2017,129:103-117.

[67] LI D,CHENG T,JIA M,et al. PROCWT:Coupling PROSPECT with continuous wavelet transform to improve the retrieval of foliar chemistry from leaf bidirectional reflectance spectra[J]. Remote Sensing of Environment,2018,206:1-14.

[68] LI D,WANG X,ZHENG H B,et al. Estimation of area- and mass based leaf nitrogen contents of wheat and rice crops from water removed spectra using continuous wavelet analysis[J]. Plant Methods,2018,14:76.

[69] 李朋磊,张　骁,王文辉,等. 基于高光谱和激光雷达遥感的水稻产量监测研究[J]. 中国农业科学,2021,54(14):2965-2976.

[70] YUE J B,YANG G J,TIAN Q J,et al. Estimate of winter-wheat above-ground biomass based on UAV ultrahigh-ground-resolution image textures and vegetation indices[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2019,150:226-244.

[71] SCHMIDHUBER J. Deep learning in neural networks:an overview[J]. Neural Networks,2015,61:85-117.

[72] ELHOUCINE E,RECEP E,LAHCEN E. Deep multi-scale convolutional neural networks for automated classification of multi-class leaf diseases in tomatoes[J]. Neural Computing and Applications,2024,36(2):803-822.

[73] 林云浩,王艳军,李少春,等. 一种耦合 DeepLab 与 Transformer 的农作物种植类型遥感精细分类方法[J]. 测绘学报,2024,53(2):353-366.

Research Progress in Remote Sensing Estimation of Grain Quality in Rice, Wheat and Other Cereal Crops

ZHANG Xiao[1], WANG Xue[2], WANG Meiling[1], DING Ying[1], TANG Kang[1], CHEN Wenbin[1], DING Hairong[1]
(1. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China; 2. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University / National Engineering and Technology Center for Information Agriculture, Nanjing 210095, China)

Abstract: China is a big country of grain production, and its stable production and supply are of great significance for national food security, among which the quality of main grain is an indispensable part of stable food production and supply. By monitoring and predicting the grain quality parameters of crops, it was possible to optimize the early cultivation measures of crops, finely divide the processing mechanism of crop classification harvest and grading acquisition, so that could improve the quality of cereal crops. Remote sensing technology provides a fast, timely and non-destructive means for the monitoring and prediction of grain quality of cereal crops. In this paper, the research progress in remote sensing monitoring and prediction of grain quality of cereal crops such as rice and wheat was reviewed, and 3 main scales of monitoring and prediction of grain quality of cereal crops were summarized. The commonly used spectral analysis methods were introduced, and the existing challenges were put forward. The trends of research in future were discussed.

Key Words: Cereal crops; Grain quality; Remote sensing estimation; Research progress

欢迎订阅 2025 年《大麦与谷类科学》

《大麦与谷类科学》是《中国期刊全文数据库》《中文科技期刊数据库》《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录期刊、超星域出版平台全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、国家科技学术期刊开放平台全文收录期刊、原国家新闻出版广电总局首次认定 A 类学术期刊。江苏省一级期刊、2017 年度江苏省精品科技期刊,CACJ 中国应用型扩展期刊(2023 版),OA 开放获取典范期刊(维普资讯)。

《大麦与谷类科学》由江苏省农业科学院主管、江苏沿海地区农业科学研究所主办,是中国作物学会大麦专业委员会与江苏省农学会学术性期刊,内容具有创新性、应用性、系统性、导向性,主要报道大麦、小麦、水稻、玉米、高粱、谷子等谷类作物的研究动态和科研成果,内设栏目有:综述与报告(专家视点)、生理与生态、栽培与育种、土肥与植保、贮藏与加工、资源与环境、种业创新、现代大农业、乡村振兴、简讯与信息、人物介绍等。主要作者与读者为从事农业科研与农技推广的科技人员、农业企业经营管理人员、农业大中专院校师生等。

本刊为双月刊,大 16 开本。国内外公开发行,中国标准连续出版物号 CN32-1769/S、ISSN 1673-6486。国内每期定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元,自办发行。

欢迎赐稿,欢迎订阅。可随时直接与本编辑部联系。

电　话:0515-88330625
网　址:http://dmkx.cbpt.cnki.net
电子信箱:damkx@163.com
邮　编:224002
邮局汇款:《大麦与谷类科学》杂志编辑部
地　址:江苏省盐城市开放大道北路 9 号
银行汇款:江苏沿海地区农业科学研究所
开户行:盐城市农行建中支行
账　号:10-400901040004637
用　途:订阅费或编审费

宋旭东,张舒钰,马　亮,等. 糯玉米籽粒蛋白质含量及组分与其他品质性状的关系[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):12-17(2025-01-09). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.002.

糯玉米籽粒蛋白质含量及组分与其他品质性状的关系

宋旭东[1],张舒钰[1],马　亮[1],马　璐[1],章慧敏[1],张振良[1],周广飞[1],冒宇翔[1],陆虎华[1],陈国清[1,2],郝德荣[1*]
(1. 江苏沿江地区农业科学研究所,江苏 如皋 226541;2. 江苏省现代作物生产协同创新中心,江苏 南京 210095)

摘要:探讨蛋白质质量分数和组分对糯玉米品质的影响,可为优质糯玉米新品种的选育提供理论依据。通过选用 8 个籽粒蛋白质质量分数差异显著的糯玉米自交系,测定籽粒的营养品质(蛋白质质量分数及组分、淀粉质量分数、脂肪质量分数)和蒸煮品质(RVA 糊化参数、DSC 热力学特性和胶稠度)等指标,并进行相关性分析,评价营养品质与蒸煮品质的关系。结果表明:在供试材料中,自交系 YBW1 和 HMZW 的蛋白质的质量分数(>15%)显著高于其他自交系,其蛋白质组分也较多。相关性分析发现,籽粒蛋白质质量分数与清蛋白质量分数(r=0.61)、醇溶蛋白质量分数(r=0.86)、谷蛋白质量分数(r=0.73)呈显著或极显著正相关,说明决定蛋白质总量的蛋白质组分主要是清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。蛋白质质量分数与糊化特性无相关性,而与热力学特性显著相关。清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白与热力学特性呈显著正相关,而谷蛋白与糊化特性呈显著负相关。糯玉米籽粒蛋白质质量分数、清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白影响淀粉的回生性,而谷蛋白质量分数还影响淀粉的糊化特性。

关键词:蛋白质;蛋白质组分;糊化特性;热力学特性;糯玉米
中图分类号:S513　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240101

糯玉米(*Zea mays* L. *ceratina* Kulesh)又称蜡质玉米,受隐性糯质基因(*wx*)控制,其籽粒胚乳淀粉几乎全为支链淀粉[1]。糯玉米因独特的胚乳淀粉组成,其青嫩果穗籽粒口感柔软、适口性好,符合当今大众消费者"粗粮细吃、营养均衡"的健康膳食理念,消费市场潜力巨大。近年来,随着人们生活水平的提高和市场发展的多样性,消费者对鲜食糯玉米的要求也从原来单一的追求产量向口感优质、营养丰富等品质要求转变。因此,改善糯玉米营养品质,获得具有优良食味品质的糯玉米品种,已逐渐成为目前糯玉米育种重要的目标之一。

营养品质是指作物籽粒的营养成分,主要包含淀粉、蛋白质、脂肪、氨基酸和矿质元素等[2]。对水稻的籽粒蛋白质、淀粉和脂肪质量分数与食味品质的关系已有大量的研究,发现食味品质与淀粉质量分数,特别是支链淀粉质量分数、蛋白质质量分数呈显著负相关,与胶稠度呈显著正相关,与淀粉黏度分析 RVA(rapid visco analyzer)谱糊化特征值密切相关[2-3]。作为与水稻蒸煮食用方式相同的糯玉米,目前关于营养品质(蛋白质质量分数和组分、淀粉质量分数、脂肪质量分数)与蒸煮品质关系的研究鲜有报道,这严重阻碍了鲜食糯玉米品质改良和提升。

蒸煮品质直接影响糯玉米籽粒的口感,是品质性状中最为关键的核心指标[4-6]。一般来说,评价蒸煮品质的主要理化指标有糊化特性、胶稠度及热力学特性[6]。蛋白质、脂肪和淀粉是谷类作物籽粒的主要组成成分,而这些组成部分既是评价营养品质的重要指标,也是影响蒸煮品质的重要因素[7]。因此,研究糯玉米籽粒蛋白质组分与质量分数、淀粉质量分数、脂肪质量分数与蒸煮品质的关系,可为糯玉米品质遗传改良和新品种的选育提供理论基础。本研究利用前期筛选得到的 8 份蛋白质质量分数差异显著的糯玉米自交系作为试验材料,调查这些种质资源的籽粒蛋白质质量分数及其组分、淀粉质量分数、脂肪质量分数与食味品质(糊化特性、热力学特性、胶稠度)等的关系,以期为未来糯玉米品质改良提供材料基础和理论依据。

收稿日期:2024-10-10;修回日期:2024-12-11。
基金项目:江苏省揭榜挂帅项目[JBGS(2021)054];沿江所学科建设基金[YJXK(2023)201];南通市科技计划(JC12022088、MS2023057);江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(23)1043];江苏省现代农机装备与技术示范推广项目(NJ2023-05);江苏现代农业产业技术体系建设专项资金。
作者简介:宋旭东(1992—),男,硕士,助理研究员,主要研究方向为玉米育种。Email: xudong.song@foxmail.com。
* 通信作者:郝德荣(1974—),男,博士,研究员,主要研究方向为玉米遗传育种。Email: drhao@163.com。

1　材料与方法

1.1　供试材料

本研究从 248 份糯玉米核心种质资源中筛选出的 8 份蛋白质质量分数差异较大糯玉米自交系作为试验材料，分别为 HMZW、YBW1、HT4、H、SZW、T354、HTTT 和 T5。2023 年在江苏沿江地区农业科学研究所试验基地(120°37′59″E、32°07′53″N)种植，每份材料种植 3 行，行长 3.6 m，3 次重复。水、肥、病虫草害防治等均按当地大田生产管理。在花期套袋自交，成熟时分小区收获中间行自交果穗进行籽粒品质性状的测定。

1.2　测定指标与方法

蛋白质质量分数测定方法参照文献[2]进行[测定仪器为 FOSS Kjeltec 8400 凯氏定氮仪(FOSS，Denmark)，氮换算成粗蛋白的系数为 5.95]。由近红外仪器[Inframatic 9500(Pert，Sweden)]扫描淀粉质量分数。使用 QW-SZF-06A 型脂肪测定仪测定粗脂肪质量分数[8]。

蛋白质组分采用杨静等的连续提取法[10]。依次用蒸馏水、5%NaCl、70%(体积分数) 乙醇和 0.2% NaOH 4 种溶剂对清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白进行分离提取，然后采用考马斯亮蓝法依次测定各蛋白质组分质量分数。胶稠度测定方法参考 NY83—2017《米质测定方法》[9]，并略作修改。

糊化特性参照杨欢等的方法[6]测定，采用澳大利亚 Newport Scientific 公司生产的快速黏度分析仪(RVA-IecMaster)进行；热力学特性参照杨欢等的方法[6]，采用德国 NETZSCH 公司生产的差示扫描量热仪(DSC 200 F3Maia)测定。

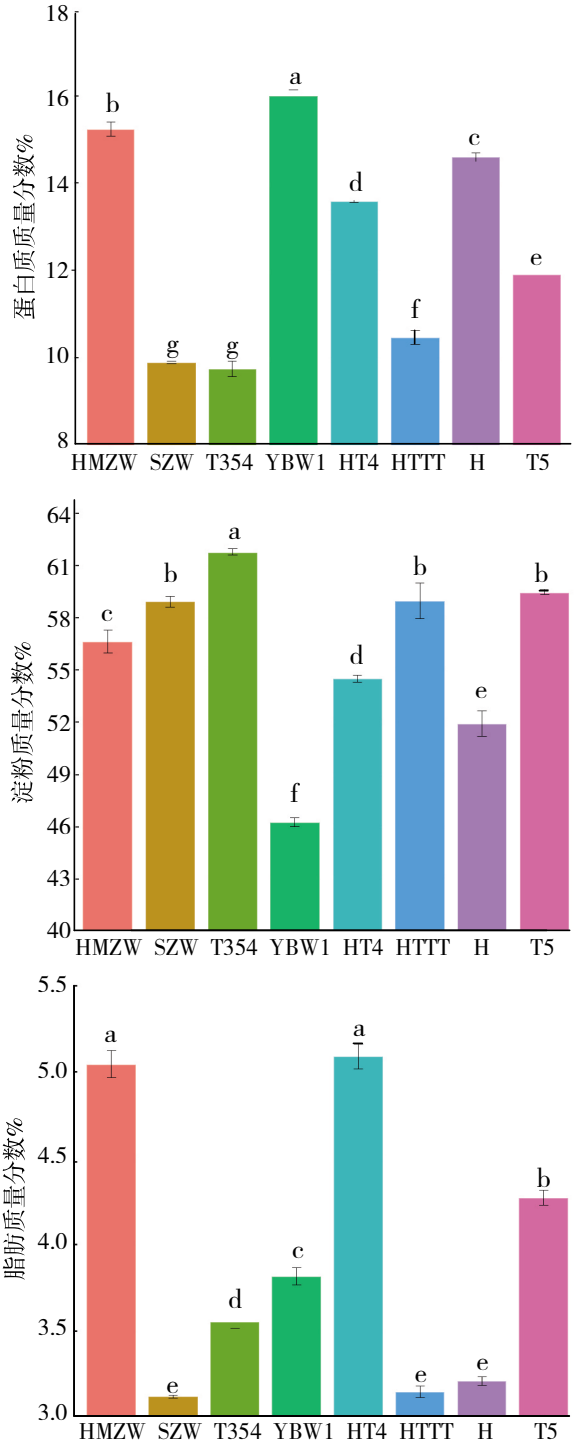
1.3　数据处理与分析

应用 SPSS 17. 0 以最小显著差数法(LSD) 进行差异显著性检验（以 $P<0.05$ 表示具统计学意义)，用皮尔森(Pearson)相关性系数评价蛋白质质量分数与其他品质之间的关系。

2　结果与分析

2.1　糯玉米籽粒蛋白质、淀粉和脂肪质量分数

本研究选用的 8 份糯玉米自交系，其籽粒蛋白质、淀粉和脂肪质量分数差异存在统计学意义(图 1)。蛋白质质量分数均值较高的自交系为 HMZW、YBW1 和 H，其最大值为 16.0%；蛋白质质量分数较低的为 SZW、T354 和 HTTT，其最小值低于 9.3%。对于籽粒淀粉质量分数，自交系 T354、T5 和 HTTT 的相对较高，其最大值为 61.8%；而 YBW1 和 H 质量分数较低，其最小值仅为 46.3%。对于籽粒脂肪质量分数，自交系 HMZM 和 HT4 显著高于其他自交系，而 SZW、HTTT 和 H 较低，仅在 3.1%左右。自交系 HMZW 蛋白质和脂肪质量分数较高，可作为优良营养品质自交系利用。



图中方柱上方不同小写字母表示各自交系间差异有统计学意义($P<0.05$)。图 3 同

图 1　8 个糯玉米自交系籽粒蛋白质、淀粉和脂肪质量分数

2.2　蛋白组分

分析 8 份蛋白质质量分数差异显著的自交系蛋白组分发现(图 2),醇溶蛋白和谷蛋白是玉米籽粒蛋白组分的主要组成成分,占比超过 90%。清蛋白和球蛋白质量分数相对较少,占比低于 10%。比较不同自交系发现,HMZW、YBW1 和 HT4 的蛋白组分质量分数较高,而 SZW 和 T354 的蛋白组分质量分数较低。更重要的是,HMZW 中清蛋白和球蛋白的比例相对较高(两者之和大于 10%),未来可作为优质蛋白自交系来源利用。

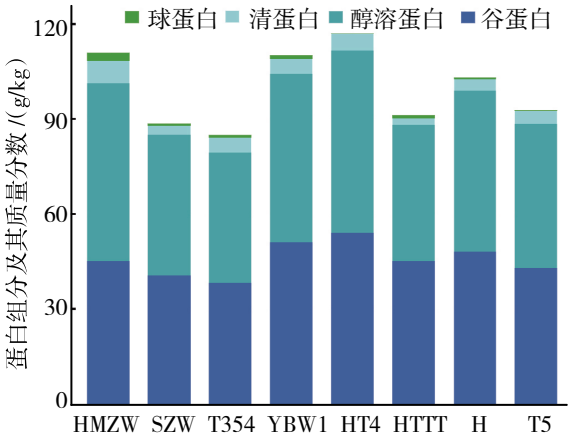


图 2　8 份糯玉米自交系籽粒蛋白组分及构成

2.3　糊化性状

从表 1 中可以看出，不同自交系间 RVA 糊化性状差异较大。自交系 HMZW 和 T5 糊化特征值较高,包括峰值黏度、谷值黏度和终值黏度整体显著高于其他自交系,说明在糊化后能呈现出较好的黏性,但是其回复值较高,说明易回生,这使其质地变差、硬度变高。SZW、YBW1 和 HT4 峰值黏度、谷值黏度和终值黏度显著低于其他自交系,说明其糊化性状较低,但回复值也较低,说明其不易回生,籽粒的质地较软。

2.4　热力学特性

与 RVA 糊化值不同，不同自交系间热力学特性差异相对较小(表 2)。自交系 HMZW、YBW1 和 H 的起始温度、峰值温度和终值温度较高,说明其质地相对较硬,但蒸煮后不易回生。T354 和 HTTT 起始温度、峰值温度和终值温度较低,说明其质地较软,但蒸煮后易回生。自交系 T5 的热焓值显著高于其他自交系,达到 10.3 J/g; 而热焓值最低的自交系为 YBW1,仅为 2.7 J/g。

表 1　8 个糯玉米自交系 RVA 糊化性状

自交系	峰值黏度 /cP	谷值黏度 /cP	终值黏度 /cP	回复值 /cP	糊化温度 /℃
HMZW	732 b	737 b	1 068 a	331 a	80.5 d
SZW	159 e	160 e	274 e	114 f	80.5 d
T354	716 b	717 b	982 b	265 b	81.3 c
YBW1	178 e	178 e	293 e	114 f	80.6 d
HT4	113 f	113 f	198 f	84 g	80.5 d
HTTT	538 d	309 d	446 d	136 e	78.9 e
H	617 c	618 c	832 c	214 d	84.1 a
T5	838 a	838 a	1 076 a	237 c	82.5 b

注:cP 为黏度的单位, 1cP = mPa·s。同列数据后不同小写字母表示各自交系间差异有统计学意义($P<0.05$)。表 2 同。

表 2　8 个糯玉米自交系热力学特性

自交系	峰值温度 /℃	起始温度 /℃	终值温度 /℃	热焓值 /(J/g)
HMZW	80.9 a	75.6 a	86.9 a	6.7 d
SZW	79.4 c	73.5 c	86.6 a	6.2 e
T354	78.5 d	72.5 d	85.0 cd	5.8 f
YBW1	80.9 a	75.4 a	85.8 b	2.7 g
HT4	79.6 c	75.7 a	84.9 d	5.7 f
HTTT	77.2 e	72.2 d	85.4 c	8.7 b
H	80.2 b	74.3 b	86.7 a	8.5 c
T5	79.6 c	75.4 a	86.9 a	10.3 a

2.5　胶稠度

由图 3 可知，不同自交系胶稠度差异相对较小。在所有供试材料中，SZW 胶稠度最高，其长度为 23.1 cm；胶稠度最低的为 H，其长度为 19.2 cm。其他自交系胶稠度差异较小，长度均位于 19.5 ~ 22.0 cm。

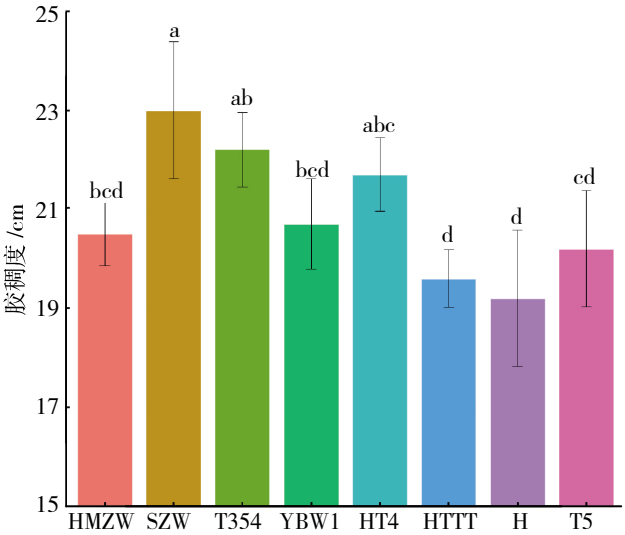


图 3　8 份糯玉米自交系材料的胶稠度

2.6　相关性分析

2.6.1　糯玉米营养成分之间的相关性分析。对 8 个糯玉米材料的营养品质的相关性分析（表 3）发现，淀粉质量分数和蛋白质质量分数之间存在极显著的负相关关系（$P<0.01$），相关系数达到 −0.84，说明当糯玉米籽粒中蛋白质质量分数升高时，淀粉质量分数降低。此外，蛋白质质量分数与清蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白呈显著或极显著正相关，说明决定蛋白质质量分数的蛋白质组分主要是清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。醇溶蛋白和谷蛋白呈极显著正相关（$r=0.81$），说明醇溶蛋白和谷蛋白的产生可能存在互促作用。胶稠度与蛋白质、淀粉和脂肪质量分数无相关性。

2.6.2　糯玉米营养成分与糊化特性、热力学特性的关系。利用 8 份蛋白质质量分数差异较大的骨干自交系，对籽粒蛋白质、淀粉和脂肪质量分数与糊化特性和热力学特性相关性分析发现（表 4），糯玉米籽粒的主要成分蛋白质、淀粉和脂肪质量分数与糯玉米淀粉 RVA 特征值之间无显著的相关性。籽粒营养组分、蛋白质质量分数、淀粉质量分数与糊化温度，特别是峰值温度和起始温度呈显著相关。以上结果说明蛋白质质量分数与糯玉米籽粒淀粉的热力学特性显著相关。对于蛋白质组分，清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白与热力学特性呈显著正相关，而谷蛋白与糊化特性呈显著负相关。

表 3　糯玉米籽粒品质性状的相关性分析

品质性状	蛋白质质量分数	淀粉质量分数	脂肪质量分数	球蛋白质量分数	清蛋白质量分数	醇溶蛋白质量分数	谷蛋白质量分数	胶稠度
蛋白质质量分数	1							
淀粉质量分数	−0.84**	1						
脂肪质量分数	0.49	−0.09	1					
球蛋白质量分数	0.31	−0.01	0.24	1				
清蛋白质量分数	0.61*	−0.20	0.64	0.48	1			
醇溶蛋白质量分数	0.86**	−0.65	0.44	0.25	0.69**	1		
谷蛋白质量分数	0.73**	−0.76	0.43	−0.17	0.26	0.81**	1	
胶稠度	−0.58	0.39	0.21	−0.04	−0.03	0.26	0.31	1

注：* 表示在 0.05 水平上显著相关；** 表示在 0.01 水平上极显著相关。表 4 同。

表 4　糯玉米籽粒品质与蒸煮品质的相关性分析

性状	峰值温度	起始温度	终值温度	热焓值	峰值黏度	谷值黏度	终值黏度	回复值	糊化温度
蛋白质质量分数	0.80**	0.76**	0.24	−0.35	−0.12	−0.02	0.01	0.09	0.24
淀粉质量分数	0.64**	−0.52*	−0.01	0.55	0.47	0.40	0.39	0.35	−0.15

（续表）

性状	峰值温度	起始温度	终值温度	热焓值	峰值黏度	谷值黏度	终值黏度	回复值	糊化温度
脂肪质量分数	0.48	0.75*	–0.01	–0.12	0.03	0.13	0.15	0.23	–0.11
球蛋白质量分数	0.29	0.07	0.30	–0.18	0.26	0.24	0.32	0.57**	–0.35
清蛋白质量分数	0.68**	0.68**	0.09	–0.34	0.14	0.31	0.36	0.51*	0.08
醇溶蛋白质量分数	0.73**	0.81**	0.08	–0.37	–0.33	–0.22	–0.19	–0.07	0.03
谷蛋白质量分数	0.41*	0.60**	–0.22	–0.33	–0.53**	–0.50*	–0.51*	–0.49*	–0.02

3　讨论

蛋白质质量分数既是评价稻米类作物营养品质的重要指标，也是影响蒸煮品质的重要因素。研究发现，蛋白质作为水稻的第二大营养组分，其质量分数对稻米品质的影响较为显著，这主要表现为蛋白质质量分数与食味品质呈负相关，即蛋白质质量分数越高，米饭的口感和食味品质越差[2]。对于糯玉米而言，本研究从 248 份糯玉米核心种质资源中筛选到 8 份蛋白质质量分数差异较大的自交系作为试验材料，测定结果表明，糯玉米籽粒蛋白质质量分数占 10%～16%，但蛋白质质量分数与淀粉糊化特性无相关性，与热力学特性指标呈显著正相关。蛋白质质量分数升高影响淀粉的热力学特性，这可能是由于包裹在淀粉粒周围的蛋白体增加，阻碍淀粉颗粒的吸水膨胀进而抑制淀粉的糊化和膨胀反应，导致糊化温度升高[11]。刘桃英等向米粉中添加不同梯度的大米蛋白质后发现米粉的润胀性和溶解性降低，糊化温度、峰值时间、回生值等增加，表明大米蛋白质与淀粉发生相互作用抑制了淀粉的糊化和膨胀过程[12]。

此外，还有研究发现，蛋白质质量分数与蒸煮品质之间并不是简单的线性关系，各蛋白质组分及其质量分数与蒸煮品质密切相关[2]。本研究发现，在 4 种贮藏蛋白中，醇溶蛋白、球蛋白和谷蛋白与淀粉的热力学特性呈显著正相关，这与吴洪恺等在水稻上的研究结果[13-14]相同。这可能是因为随着醇溶蛋白、球蛋白和谷蛋白质量分数的增加，这些蛋白质组分和水之间形成氢键，吸水速率减慢，限制了水分子在糊化过程中进入淀粉粒，进而抑制了淀粉的糊化和膨胀过程[15]。此外，谷蛋白也与淀粉的糊化特性呈显著负相关，说明相对于其他蛋白而言，谷蛋白显著降低糯玉米籽粒淀粉的糊化，对蒸煮品质产生较大的负面效应。以上结果说明糯玉米蛋白质总量及组分均对糯玉米籽粒淀粉的热力学特性产生影响，蛋白质质量分数升高，糊化所需热能越高，淀粉越难以糊化，而其中对热力学特性影响较大的蛋白质组分是谷蛋白、醇溶蛋白和球蛋白，影响糊化特性的蛋白质组分为谷蛋白。RVA 糊化参数是反映糯玉米食味品质的重要理化指标。本研究发现，不同自交系间的糊化参数值差异显著，说明不同自交系籽粒的食味品质存在较大的差异，这与前人的研究结果[16-17]一致。而蛋白质质量分数与 RVA 糊化特性间无显著相关性，但谷蛋白质量分数与淀粉糊化特性呈显著负相关。以上结果说明，蛋白质质量分数与糯玉米的糊化特性无相关性，但蛋白质组分特别是谷蛋白对糊化特性呈显著负相关，在糯玉米品质改良过程中，可考虑适当降低谷蛋白质量分数，进而提高其淀粉的糊化特性，降低热力学特性。

淀粉和脂肪作为糯玉米籽粒的重要组成成分，分别占籽粒质量的 41%～63%和 3.2%～5.2%。在水稻和小麦等作物中，研究发现淀粉中的直链淀粉质量分数与蒸煮品质指标的糊化特性、热力学特性密切相关，特别是直链淀粉－脂肪复合体结构的形成，降低了水分进入淀粉颗粒的阻力，使糊化温度、峰值温度及终值温度降低，提升稻米的蒸煮品质[18]。因此，脂肪质量分数的升高一定程度上会提高稻米的蒸煮食味品质。本研究发现，淀粉和脂肪质量分数与热力学特性、糊化特性和胶稠度均无相关性。在糯玉米籽粒中，支链淀粉质量分数占总淀粉的 97%以上，淀粉理化特性的差异是否与淀粉粒的大小、链长分布、精细结构等因素有关，还有待于进一步研究。

4　结论

糯玉米自交系蛋白质、淀粉和脂肪质量分数分别占籽粒质量的 10%～16%、41%～63%和 3.2%～5.2%。总蛋白质量分数与糊化特性、胶稠度无相关性，与热力学特性呈正相关；不同蛋白质组分对蒸煮品质

的影响不同，其中醇溶蛋白、谷蛋白和清蛋白与热力学特性呈显著正相关，而谷蛋白质量分数与糊化特性、热力学特性均呈显著负相关。淀粉和脂肪质量分数与糊化特性、胶稠度无显著相关性，与热力学特性中的起始温度和峰值温度均呈显著相关。

参考文献：

[1] 张　欣,张喜华,江　丹,等. 我国玉米品质育种研究进展[J]. 杂粮作物,2000,20(5):13-17.

[2] 石　吕,张新月,孙惠艳,等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学,2019,33(6):541-552.

[3] 谢黎虹,罗　炬,唐绍清,等. 蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理[J]. 中国水稻科学,2013,27(1):91-96.

[4] 李俊宏,王云东,杨胜伟,等. 氮密互作对糯玉米淀粉含量和食味品质的影响[J]. 天津农林科技,2021(2):8-11.

[5] 田文涛,胡玉婷,严　鹏,等. 环境和缓控释肥复合处理对稻米品质的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(14):54-63.

[6] 杨　欢,沈　鑫,陆大雷,等. 籽粒建成期高温胁迫持续时间对糯玉米籽粒产量和淀粉品质的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(11):2071-2082.

[7] 周治宝,王晓玲,余传元,等. 籼稻米饭食味与品质性状的相关性分析[J]. 中国粮油学报,2012,27(1):1-5.

[8] 薛亚鹏,辛旭霞,王若楠,等. 国内外谷子资源农艺、品质性状差异分析以及遗传多样性研究[J]. 作物学报,2024,50(10): 2468-2482.

[9] 农业农村部农产品加工局. 米质测定方法: NY/T 83—2017 [S]. 北京:中国农业出版社,2017:6-8.

[10] 杨　静,罗秋香,钱春荣,等. 氮素对稻米蛋白质组分含量及蒸煮食味品质的影响[J]. 东北农业大学学报,2006,37(2):145-150.

[11] 路　凯,赵庆勇,周丽慧,等. 稻米蛋白质含量与食味品质的关系及其影响因素研究进展[J]. 江苏农业学报,2020,36(5):1305-1311.

[12] 刘桃英,刘成梅,付桂明,等. 大米蛋白对大米粉糊化性质的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(2):97-99,103.

[13] 吴洪恺,刘世家,江　玲,等. 稻米蛋白质组分及总蛋白质含量与淀粉 RVA 谱特征值的关系[J]. 中国水稻科学,2009,23(4):421-426.

[14] BAXTER G,BLANCHARD C,ZHAO J. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour[J]. Journal of Cereal Science,2014,60(2):414-420.

[15] HUANG S J,ZHAO C F,ZHU Z,et al. Characterization of eating quality and starch properties of two *Wx* alleles *Japonica* rice cultivars under different nitrogen treatments[J]. Journal of Integrative Agriculture,2020,19(4):988-998.

[16] 魏　琪,李广浩,陆卫平,等. 播期对秋播鲜食糯玉米产量和品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2020,41(5):15-23.

[17] 刘　萍,陆卫平,陆大雷. 鲜食糯玉米品质差异及适宜采收指标的研究[J]. 玉米科学,2019,17(6):5-8.

[18] 江谷驰弘,雷小波,兰　艳,等. 粳稻脂肪含量对稻米品质的影响[J]. 华南农业大学学报,2016,37(6):98-104.

Relationship Between Protein Content and Composition and Other Quality Traits in Waxy Maize Kernel

SONG Xudong[1], ZHANG Shuyu[1], MA Liang[1], MA Lu[1], ZHANG Huimin[1], ZHANG Zhenliang[1], ZHOU Guangfei[1], MAO Yuxiang[1], LU Huhua[1], CHEN Guoqing[1,2], HAO Derong[1]

(1. Jiangsu Yanjiang Area Institute of Agricultural Sciences, Rugao 226541, China;
2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China)

Abstract: Exploring the impact of protein content and composition on the quality of waxy maize can provide a theoretical foundation for the breeding of new high-quality waxy maize varieties. In this study, eight waxy maize inbred lines with significant difference in grain protein mass fraction were selected, and the nutritional quality (protein content, starch content, fat content) and cooking quality (RVA pasting parameters, DSC thermodynamic properties and gel consistency) were measured. The correlation analysis was conducted to evaluate the relationship between nutritional quality and cooking quality. The results showed that among the tested materials, the protein content of YBW1 and HMZW (> 15%) was significantly higher than that of other inbred lines, and their protein composition was also higher. Correlation analysis showed that total protein content was significantly positively correlated with albumin (r = 0.61), prolamin (r = 0.86), and glutelin (r = 0.73), indicating that the main protein components determining the total protein content are albumin, prolamin, and glutelin. Protein content had no correlation with pasting properties, but was significantly correlated with thermodynamic characteristics. Albumin,prolamin,and glutelin were significantly positively correlated with thermodynamic properties, and glutelin was significantly negatively correlated with pasting properties. The total protein content, albumin, prolamin, and glutelin in waxy maize kernel affected starch retrogradation, while glutelin content also influenced starch pasting properties.

Key Words: Protein; Protein composition; Pasting properties; Thermodynamic properties; Waxy maize

丁翊东,刘晓飞,赖上坤,等. 大豆玉米带状复合种植模式对玉米特性、作物产量和经济收益的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):18-24,28(2025-01-08). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.003.

大豆玉米带状复合种植模式对玉米特性、作物产量和经济收益的影响

丁翊东,刘晓飞,赖上坤,夏前浩 *
(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏 宿迁 223800)

摘要:大豆玉米带状复合种植技术在提升我国大豆产能和缓解粮油争地矛盾中发挥着重要作用。通过评估带状复合种植体系中大豆玉米行比配置变化(4S2M、4S4M、6S2M、6S4M 4 种模式)对玉米植株形态、作物产量和整体经济收益的影响,以期为江苏地区大豆玉米带状复合种植模式和玉米品种选择提供理论支持。结果表明:种植模式的改变不会显著影响玉米植株形态特征,但会通过改变玉米果穗相关性状参数来影响单穗产量;4S4M 模式能够产生最高的平均经济毛收益,6S2M 模式产生的经济毛效益最低,玉米品种迁玉 180 能够更加突出 4S4M 模式的优势,使其经济毛收益达到 2 144 元 /667 m^2。因此,在苏北地区选用玉米品种迁玉 180 与 4S4M 模式配套使用能够产生更高的经济效益。

关键词:行比配置;单穗产量;经济毛收益;带状复合种植
中图分类号:S513;S565.1　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240086

农业种植方式多样化(如不同属性作物混作)可在实现全球粮食生产满足日益增长需求的同时降低人为投入的农药和化肥对环境的污染[1-2]。作物套作是我国传统农业常采用的一种种植方式,经不断改良与优化逐渐形成了现代多样化的间作种植模式[3]。鉴于间作比单作具有明显的农业经济和生态优势,间作种植模式近年来越来越受到人们和社会的关注[4]。目前,我国主粮作物基本实现自足,但重要的油料作物大豆还高度依赖进口,这无疑对国家粮食安全造成潜在威胁[4-5]。在我国粮油争地矛盾日益突出的背景下,如何提高国内大豆种植面积和产量是当前亟需解决的热点问题,而大豆玉米带状复合种植技术则是突破当前困境的强有力手段[6-7]。为切实保障国家粮食安全,2022—2024 年的“中央一号文件”持续将大豆玉米带状复合种植技术推广作为我国农业层面的重要战略任务。

大豆玉米带状复合种植可以更加有效地利用农业资源(如养分、水分和光照等),从而实现更高的作物产量和经济收益[8-10]。不同的大豆玉米配置模式通常会改变田间微气候和土壤结构而影响作物生长发育,最终对作物产量产生积极或消极影响[11-13]。由于大豆玉米带状复合种植技术目标在于提升我国大豆种植面积和产量,因而以往研究普遍关注大豆玉米间作配置对大豆植株形态、生理特性和产量的影响[14-15],对玉米影响的研究相对较少。宿迁市是江苏省重要的粮食产区,大豆玉米带状复合种植体系形成以 4 行大豆与 2 行玉米为主,4 行 /6 行大豆与 4 行玉米兼顾的格局[12]。考虑到不同间作配置对作物特性的差异性影响,因此有必要研究当地不同大豆玉米带状复合种植模式对玉米生产特性的影响。

基于此,本研究结合江苏省大豆玉米带状复合种植指导意见和宿迁地区复合种植实际生产情况,确定迁玉 180、MY73 和富玉 917 这 3 个玉米品种为研究对象,设置 4 种大豆玉米配置组合模式进行带状复合种植,探究大豆玉米复合种植模式对玉米植株形态特征、农艺特性、作物产量和经济效益的影响。本研究旨在探究玉米相关特性在不同种植模式间的变化规律,为当地合理优化种植模式和科学选择玉米品种提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于江苏省农业科学院宿迁农科所泗

收稿日期:2024-09-02;修回日期:2025-01-02。
基金项目:宿迁市农业科技自主创新资金项目(SQCX202404)。
作者简介:丁翊东(1997—),男,硕士,研究实习员,研究方向为作物栽培和育种。Email: dyd0606888@163.com。
* 通信作者:夏前浩(1974—),男,研究方向为科研管理与种子。Email: 20220014@jaas.ac.cn。

阳城南作物育种基地(118°69′E、33°69′N),该地属暖温带季风气候,年平均气温为 14.4 ℃,年降水量为 960 mm。本研究区属黄泛冲积平原,土壤类型为砂质潮土,播种前土壤有机碳含量(质量分数,下同)为 11.80 g/kg,全氮含量为 0.73 g/kg,全磷含量为 1.07 g/kg,速效氮含量为 69.9 mg/kg,有效磷含量为 18.4 mg/kg,pH 值为 7.6 [16]。

供试玉米品种为迁玉 180(江苏润扬种业股份有限公司提供)、富玉 917(安徽省创富种业有限公司提供)和 MY73(河南省豫玉种业股份有限公司提供);供试大豆为 SY168(江苏省农业科学院宿迁农科所提供)。

1.2 试验设计

试验采用带状复合种植模式,田间小区试验设计,共设置 4 个种植模式、3 个玉米品种,共 12 个处理,分别为:(a)4S2M 模式(大豆玉米行比为 4∶2),其中大豆行距 30 cm,株距 9~10 cm,玉米行距 40 cm,株距 10~12 cm,大豆带与玉米带间距 70 cm(图1-a);(b)4S4M 模式(大豆玉米行比为 4∶4),其中大豆行距 30 cm,株距 6~8 cm,玉米行距 40 cm –90 cm –40 cm,株距 14~15 cm,大豆带与玉米带间距 70 cm(图 1-b);(c)6S2M 模式(大豆玉米行比为 6∶2),其中大豆行距 30 cm,株距 11~12 cm,玉米行距 40 cm,株距 9 cm,大豆带与玉米带间距 70 cm(图 1-c);(d)6S4M 模式(大豆玉米行比为 6∶4),其中大豆行距 30 cm,株距 8~9 cm,玉米行距 40 cm–90 cm–40 cm,株距 12~13 cm,大豆带与玉米带间距 70 cm(图 1-d)。每个处理 5 次重复,共 60 个小区,试验材料均在 2023 年 6 月 23 日播种。根据大豆玉米生产需求控制施肥,玉米施足氮肥(复合种植玉米单株施肥量与单作玉米单株施肥量相同,1 行玉米施肥量相当于单作 2 行玉米施肥量),大豆少施氮肥:施基肥(复合肥,N、P_2O_5、K_2O 质量分数均为 15%)375~450 kg/hm^2,玉米 10~11 片展开叶时追施尿素 375~450 kg/hm^2 作穗肥,大豆初花期根据长势追施尿素 45~75 kg/hm^2。

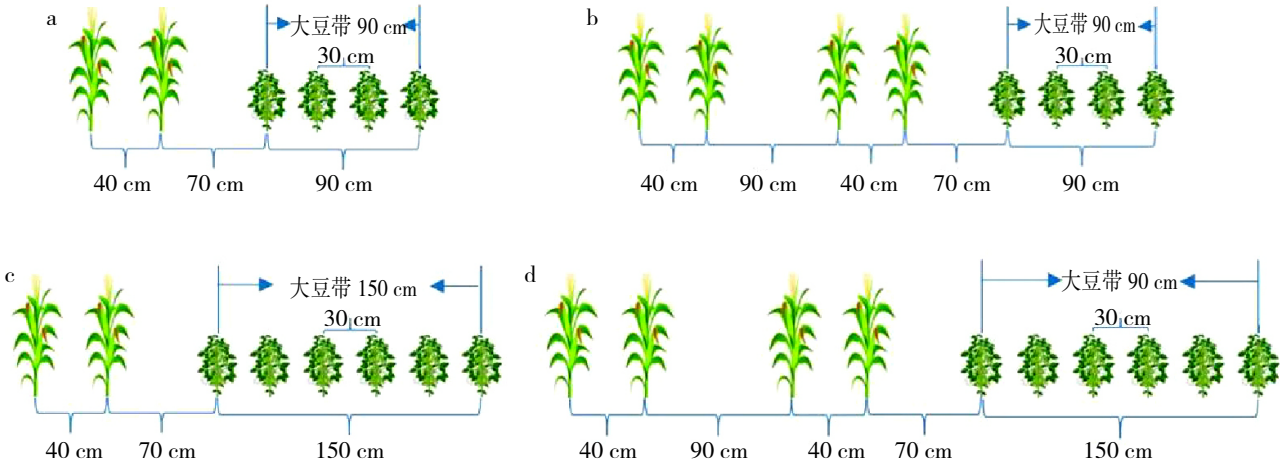


图 1　作物田间布局模式图

1.3 指标测定

1.3.1 玉米植株形态指标测定。在玉米生长过程中,选择中间行连续 10 株玉米,在出苗后每 10 d 进行1 次株高和叶片数的测定,并在植株茎叶停止生长后(籽粒灌浆后期或收获前)进行株高、叶片数和穗位高等指标的测定;在玉米收获时,每个小区随机选择 5 个果穗,经晾晒后考种,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数等农艺性状指标并测定单株玉米产量。

1.3.2 作物产量测定。考虑到工作量,仅在每个处理中选取 3 个小区进行玉米和大豆的收获,用于小区产量的测定,并按照面积进行换算。

1.3.3 经济毛收益评价。根据 2023 年 11 月份国家粮食和物资储备局公布的收购价格,玉米 2.622 元 /kg,大豆 4.924 元 /kg,评估大豆玉米带状复合种植可产生的经济毛收益。计算公式如下:

经济毛收益 = 玉米产量 × 玉米单价 + 大豆产量 × 大豆单价。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019、SPSS 13.0 软件进行数据的统计、整理和分析,Origin 2021 绘图软件作图。所有数据在分析前均通过方差齐性检验。采用单因素方差

分析和 Tukey HSD 法分析不同种植模式下作物生长指标、农艺特性、产量和经济收益的差异；采用双因素方差分析评估种植模式和玉米品种对玉米相关指标参数的影响；采用 Pearson 法对玉米单穗产量和玉米特性进行相关性分析。在本研究中，图表中的数据均为平均值 ± 标准差，将 $P<0.05$ 设定为统计分析的显著性水平。

2　结果与分析

2.1　复合种植模式对玉米生产特性的影响

2.1.1　复合种植模式对玉米植株特性的影响。在玉米整个生长过程中，4 种复合种植模式下 3 个玉米品种的叶片数和株高变化趋势一致，在散粉期前玉米的叶片数和株高变化迅速，在散粉到成熟期阶段生长缓慢直至停止生长（图 2）。在整个生长发育过程中，迁玉 180 和 MY73 的叶片数在大豆玉米复合种植模式间整体上差异无统计学意义，但富玉 917 在拔节 – 散粉期模式间差异具统计学意义，具体为 4S4M 模式的玉米叶片数最多，6S2M 模式和 6S4M 模式次之，4S2M 模式最少（图 2）。与叶片数不同，3 个品种玉米的株高在玉米拔节 – 散粉期模式间差异均具统计学意义，均为 4S4M 模式下的玉米株高最高（图 2）。然而，当玉米植株停止生长后，3 个玉米品种的叶片数、株高和穗位高等形态特征在各种植模式间差异均无统计学意义（图 3）。

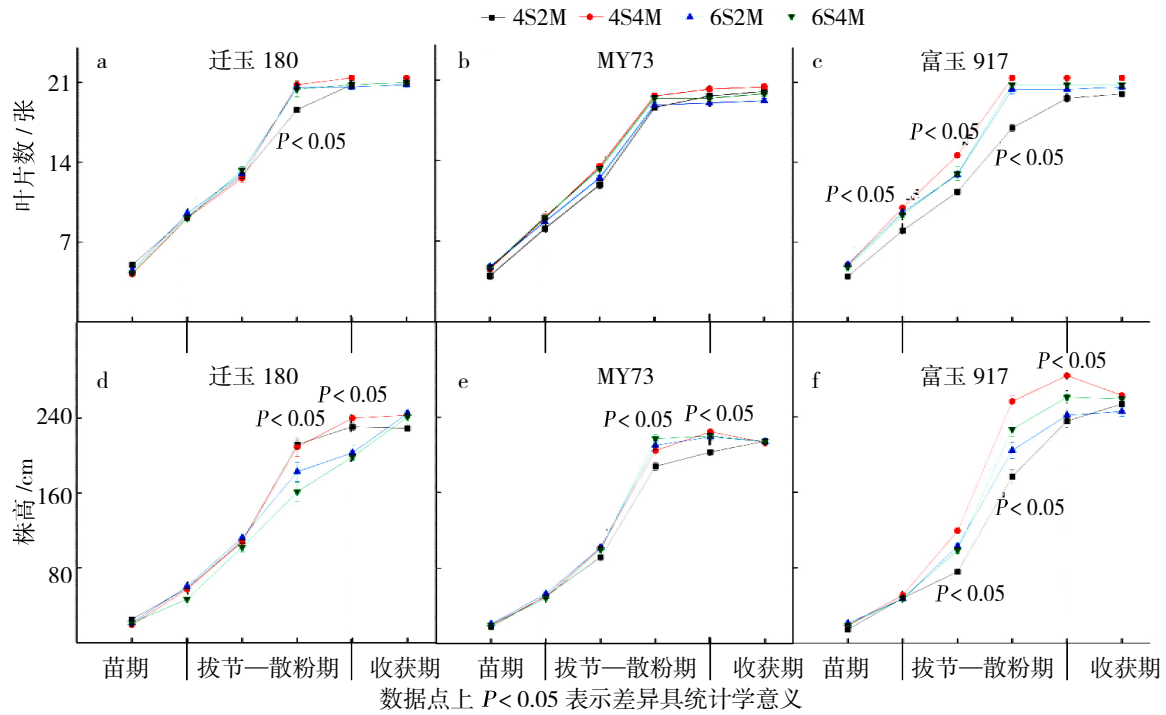
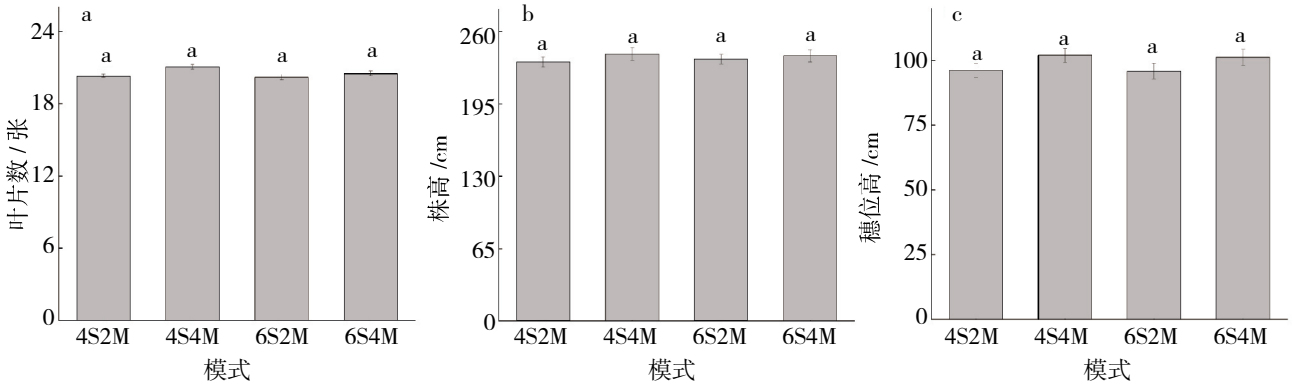


图 2　大豆玉米复合种植模式对玉米生长过程叶片数和株高的影响



图中同一指标相同小写字母表示处理间差异没有统计学意义（$P>0.05$）

图 3　大豆玉米复合种植模式对玉米叶片数、株高和穗位高的影响

2.1.2　复合种植模式对玉米果穗农艺特性和单穗产量的影响。由表 1 可知，大豆玉米带状复合种植模式和玉米品种对玉米果穗的农艺特性产生显著的单独或交互影响。具体来说，玉米品种影响着果穗的所有农艺性状（本文所测定的指标），种植模式以及种植模式和玉米品种的交互作用只显著影响玉米果穗的穗粗，而对玉米的穗长、穗行数和行粒数等特征参数不会产生显著影响（表 1、表 2 和表 3）。此外，大豆玉米带状复合种植模式和玉米品种对玉米单穗产量有着显著的单独和交互影响（表 1）。具体来说，穗粗和单穗产量在 4 种复合种植模式间差异具统计学意义，4S2M 和 6S2M 模式下玉米穗粗最粗，4S2M 模式的玉米单穗产量最高，6S4M 模式下的玉米穗粗和单穗产量最低，但 4S4M 和 6S2M 模式下的玉米果穗穗粗和单穗产量差异无统计学意义（表 3）。

2.1.3　复合种植模式下玉米植株形态和果穗农艺特性和产量的相关性分析。通过相关性分析可知，大豆玉米带状复合种植体系下的玉米相关农艺性状与植株形态特征参数存在一定的相关性，如株高和穗位高均与穗长和穗粗存在显著的正相关关系（图 4）。此外，单株玉米产量与玉米株高、穗位高、穗粗、穗长、行粒数呈正相关，而与穗行数呈负相关（图 4）。

表 1　玉米品种（V）、种植模式（M）及其交互作用对玉米相关参数影响的双因素方差分析（*F* 值）

因子	叶片数	株高	穗位高	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	单穗产量
V	0.4	0.8	61.2*	77.8*	79.6*	31.8*	8.3*	181.9*
M	0.5	0.4	4.1*	0.9	14.2*	0.3	1.7	29.3*
V × M	0.2	0.3	2.2	0.7	4.1*	1.1	0.3	21.4*

注：* 表示因子对测定指标具有显著性影响（$P < 0.05$）。

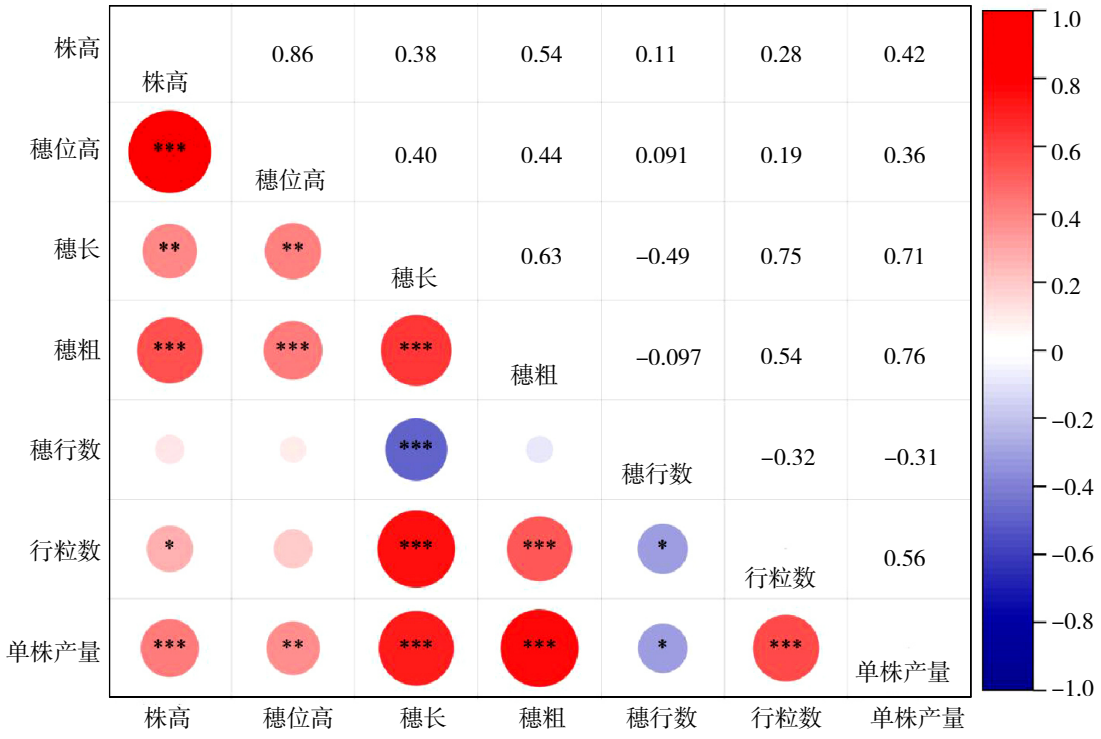
表 2　大豆玉米复合种植模式对玉米特性及单穗产量的影响

模式	品种	穗长 /cm	穗粗 /cm	穗行数 /（行 / 穗）	行粒数 /（粒 / 行）	单穗产量 /g
4S2M	迁玉 180	21.9 ± 0.6 a	4.99 ± 0.07 a	12.8 ± 0.8 bc	78.0 ± 2.2 a	185 ± 7 a
	MY73	14.2 ± 0.4 d	4.41 ± 0.06 cd	14.8 ± 0.5 abc	65.6 ± 3.2 a	115 ± 3 de
	富玉 917	16.8 ± 1.3 bcd	4.80 ± 0.01 ab	15.2 ± 0.8 ab	73.4 ± 5.8 a	155 ± 2 b
4S4M	迁玉 180	20.7 ± 0.5 ab	4.80 ± 0.04 ab	12.4 ± 0.4 c	77.6 ± 2.9 a	160 ± 2 b
	MY73	15.1 ± 0.2 d	4.46 ± 0.04 cd	14.4 ± 0.4 abc	66.4 ± 3.1 a	110 ± 2 e
	富玉 917	17.4 ± 1.1 bcd	4.80 ± 0.04 ab	16.0 ± 0.0 a	73.8 ± 4.7 a	160 ± 4 b
6S2M	迁玉 180	22.3 ± 1.0 a	4.80 ± 0.06 ab	12.4 ± 0.4 c	77.6 ± 1.8 a	160 ± 2 b
	MY73	13.9 ± 0.6 d	4.60 ± 0.02 bc	14.8 ± 1.1 abc	66.4 ± 2.2 a	130 ± 3 cd
	富玉 917	16.6 ± 0.9 cd	4.80 ± 0.06 ab	14.8 ± 1.1 abc	68.0 ± 5.1 a	115 ± 4 de
6S4M	迁玉 180	20.4 ± 1.1 abc	4.59 ± 0.04 bc	12.8 ± 0.5 bc	70.6 ± 3.4 a	145 ± 2 bc
	MY73	13.8 ± 0.1 d	4.29 ± 0.02 d	13.6 ± 0.4 abc	63.0 ± 1.4 a	110 ± 2 e
	富玉 917	16.1 ± 0.9 d	4.70 ± 0.04 b	15.6 ± 0.4 a	66.0 ± 5.2 a	125 ± 4 de

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异具统计学意义（$P < 0.05$）。下表同。

表 3　大豆玉米复合种植模式间玉米产量特性及单穗产量差异性

模式	穗长 /cm	穗粗 /cm	穗行数 /（行 / 穗）	行粒数 /（粒 / 行）	单穗产量 /g
4S2M	17.6 ± 1.0 a	4.73 ± 0.07 a	14.3 ± 0.5 a	72.3 ± 2.5 a	152 ± 8 a
4S4M	17.7 ± 0.7 a	4.69 ± 0.05 ab	14.3 ± 0.4 a	72.6 ± 2.3 a	144 ± 6 ab
6S2M	17.6 ± 1.0 a	4.73 ± 0.04 a	14.0 ± 0.4 a	70.7 ± 2.2 a	135 ± 5 ab
6S4M	16.8 ± 0.9 a	4.53 ± 0.05 b	14.0 ± 0.4 a	66.5 ± 2.1 a	127 ± 4 b



* 表示 $P<0.05$；** 表示 $P<0.01$；*** 表示 $P<0.001$

图 4　玉米单穗产量与农艺特性相关性分析

2.2　复合种植模式对作物产量和经济毛收益的影响

整体来看，大豆玉米带状复合种植体系下的大豆和玉米产量在不同种植模式间表现出一定的显著差异性，尽管不同玉米品种存在种间差异，但并未对这一格局产生显著影响（表 4 和表 5）。本研究发现大豆玉米带状复合种植体系下的玉米和大豆产量整体上处于协调互补状态，例如 4S4M 和 6S4M 模式的玉米产量分别高于 4S2M 和 6S2M 模式，而大豆的产量则呈现出相反趋势（表 5）。经评估预测，4S4M 模式可产生 2 059 元 /667 m² 的平均经济毛收益，居于最高水平；其次是 6S4M 和 4S2M 模式，最低的是 6S2M 模式，仅产生 1 746 元 /667 m² 的平均经济毛收益（表 5）。

表 4　大豆与不同品种玉米复合种植对作物产量和经济毛收益的影响

模式	品种	玉米产量 /（kg/667 m²）	大豆产量 /（kg/667 m²）	毛收益 /（元 /667 m²）
4S2M	迁玉 180	576 ± 33 d	77.6 ± 2.1 b	1 892 ± 85 d
	MY73	515 ± 7 ef	78.7 ± 0.8 b	1 737 ± 20 ef
	富玉 917	566 ± 3 de	74.5 ± 0.5 bc	1 850 ± 11 de
4S4M	迁玉 180	714 ± 5 a	55.3 ± 2.1 d	2 144 ± 8 a
	MY73	646 ± 4 bc	55.9 ± 2.1 d	1 968 ± 21 bcd
	富玉 917	686 ± 9 ab	54.3 ± 0.9 d	2 066 ± 19 ab
6S2M	迁玉 180	543 ± 6 de	90.7 ± 1.1 a	1 871 ± 20 de
	MY73	465 ± 6 f	91.6 ± 1.0 a	1 670 ± 22 f
	富玉 917	483 ± 3 f	87.3 ± 1.1 a	1 696 ± 8 f
6S4M	迁玉 180	645 ± 9 bc	72.5 ± 1.0 bc	2 047 ± 20 abc
	MY73	592 ± 8 cd	72.7 ± 1.6 bc	1 910 ± 18 cd
	富玉 917	566 ± 9 de	68.3 ± 1.1 c	1 820 ± 24 def

表 5　大豆玉米复合种植模式间作物平均产量和平均经济毛收益的差异

模式	玉米产量 /（kg/667 m²）	大豆产量 /（kg/667 m²）	毛收益 /（元 /667 m²）
4S2M	552 ± 14 c	76.9 ± 0.9 b	1 826 ± 34 bc
4S4M	682 ± 10 a	55.2 ± 0.8 d	2 059 ± 27 a
6S2M	497 ± 12 d	89.9 ± 0.9 a	1 746 ± 33 c
6S4M	601 ± 12 b	71.2 ± 0.9 c	1 926 ± 35 b

3　讨论

在生态系统中，植物表型性状是表征植物自身生理状态及对外界环境变化作出响应的重要指标[17-18]。对作物间作模式的研究发现，种植模式能够改变作物性状和群落结构功能以适应田间微环境变化，并对作物产量产生不同程度的影响[19-20]。考虑到叶片、茎秆和果穗性状是影响玉米生理、机械结构功能和产量构成的重要参数[21-23]，因此在理论上讲，玉米叶片数和株高形态特征以及果穗农艺性状等指标的变化可能有助于评估和预测带状复合种植模式对玉米生长发育及产量的影响。然而在本研究中，无论是在生长中还是生长结束后，玉米叶片数和株高在不同种植模式间差异均无统计学意义。这可能是由于玉米叶片数量和株高普遍受到自身遗传特性和外部环境因素的共同调控[20]，而本试验是在保证立地和水肥措施等条件一致的情况下仅改变玉米大豆的行比配置，不同模式下的玉米可获取的水分和养分并无差异，导致玉米的叶片数量和茎秆高度可能主要受玉米品种特性调控，因而在整个生育过程保持稳定水平。然而，玉米果穗的某些性状参数在模式间展现出一定差异性（表 2 和表 3）。果穗是玉米重要的生产器官，其穗部性状参数与玉米产量和质量存在紧密相关性[24-25]。郭书磊等通过对 15 份自交系和 18 份杂交种的研究发现，玉米穗粗与其产量存在显著的正相关关系[26]。本试验结果发现，4S4M 和 6S4M 模式下的玉米穗粗较小且单穗产量较低，与以往研究发现的“玉米穗粗越粗，产量越高”这一结论相一致。相较于 4S2M 和 6S2M 模式，4S4M 和 6S4M 模式下的玉米种植行数更多，尽管在种植时已经适当增加玉米之间的株行距，但玉米叶片的展开依然会相互形成较大面积的遮蔽，在整个生长发育过程可能会有更多的时间处在弱光条件下。有研究揭示，弱光条件会造成蔗糖供应短缺、运输受阻、卸载困难和库容限制等问题，制约玉米籽粒形成和灌浆，进而影响单株果穗产量[27]，这可能是 4S4M 和 6S4M 模式中玉米单穗产量较低的原因。以往单作研究指出，玉米产量与穗粗、穗长和行粒数等农艺性状参数存在显著正相关关系[28-29]。本试验发现，在大豆玉米带状复合种植模式中，玉米单穗产量同样与果穗相关农艺性状参数存在类似的相关性（图 4）。根据本试验结果推测，大豆玉米带状复合种植模式可能不会显著改变玉米植株形态，而是通过改变果穗性状来影响单穗产量。

大豆玉米带状复合种植技术提升生产收益的基础理论是“玉米不减产，增收一季豆”，然而在实际生产中普遍存在玉米减产的现象[30]。因此，优化带状复合种植系统中大豆玉米行比配置，厘清玉米和大豆产量的平衡是实现增收的关键。本研究结果表明，玉米产量是影响带状复合种植模式可产生经济收益的关键，较高的玉米产量普遍能够获取更高的经济收益，如玉米产量最高的 4S4M 模式产生最高的平均经济毛收益（表 5）。尽管此模式下大豆玉米的竞争使得大豆产量显著降低，但较高的玉米产量可以弥补大豆产量低造成的损失，从而具有最高的经济毛收益。此外，玉米品种迁玉 180 在 4S4M 模式下可产生高于其他 2 个玉米品种的经济毛收益。因此，从农户收益来看，选用玉米品种迁玉 180 并搭配 4S4M 模式可取得更好的经济效益。本研究初步探明大豆玉米带状复合种植体系下种植模式对玉米植株形态、产量和经济效益的影响，为合理优化行比配置和科学选择玉米 – 大豆组合提供理论依据，助力地区农业高质量发展。

4　结论

改变大豆玉米行比配置不会显著影响玉米植株形态特征，而是通过改变玉米果穗相关性状参数来影响单穗产量。此外，种植模式和玉米品种均会对生产效益产生一定影响。从经济收益方面来看，苏北地区选用迁玉 180 并采用 4S4M（大豆玉米行比为 4∶4）种植模式进行大田生产的经济毛收益最高。

参考文献：

[1] TAMBURINI G,BOMMARCO R,WANGER T C,et al. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield[J]. Science Advances,2020,6(45):eaba1715.

[2] SHEN L,WANG X Y,LIU T T,et al. Border row effects on the distribution of root and soil resources in maize-soybean strip intercropping systems[J]. Soil and Tillage Research,2023,233:105812.

[3] 杨文钰,杨　峰. 发展玉豆带状复合种植,保障国家粮食安全[J]. 中国农业科学,2019,52(21):3748-3750.

[4] YAP V Y,XAPHOKHAME P,DE NEERGAARD A,et al. Barriers to agro-ecological intensification of smallholder upland farming systems in Lao PDR[J]. Agronomy,2019,9(7):375.

[5] 翟　涛,吴　玲. 开放视角下中国大豆产业发展态势与振兴策略研究[J]. 大豆科学,2020,39(3):472-478.

[6] 冯　锋,张志楠,谷勇哲,等. 提升我国大豆供给能力路径刍议[J]. 中国科学院院刊,2022,37(9):1281-1289.

[7] 何　可,宋洪远. 资源环境约束下的中国粮食安全:内涵、挑战与政策取向[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2021,21(3):45-57.

[8] DU J B,HAN T F,GAI J Y,et al. Maize-soybean strip intercropping: achieved a balance between high productivity and sustainability[J]. Journal of Integrative Agriculture,2018,17(4):747-754.

[9] 罗　华,王　杰,宋　勇,等. 玉米-大豆间套作模式研究现状及其展望[J]. 作物研究,2020,34(5):502-506.

[10] 宋　瑶,周斯豪,牛宏进,等. 玉米-大豆复合种植模式下玉米根区细菌群落特征分析[J]. 环境科学,2024,45(8):4894-4903.

[11] FENG L,YANG W T,TANG H Y,et al. Bandwidth row ratio configuration affect interspecific effects and land productivity in maize soybean intercropping system[J]. Agronomy,2022,12(12):3095.

[12] 王昕彤,奚小波,陈　猛,等. 大豆玉米带状复合种植技术与装备发展现状[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):36-45.

[13] 刘朝茂,李成云. 玉米与大豆、马铃薯间作对玉米叶片衰老、产量及病害控制的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):75-78.

[14] 曹曼君,王婧瑜,崔　悦,等. 不同玉米大豆间作行比对大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学,2023,42(1):48-54.

[15] YANG F,HUANG S,GAO R C,et al. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio[J]. Field Crops Research,2014,155:245-253.

[16] 田胜营,潘明泉,吕秀敏,等. 有机无机肥配施对土壤性质和小麦生长、养分吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(23):102-107.

[17] VAN KLEUNEN M,FISCHER M. Constraints on the evolution of adaptive phenotypic plasticity in plants[J]. New Phytologist,2005,166(1):49-60.

[18] 马道承,王凌晖,梁　机. 形态标记在植物中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):55-62.

[19] 朱元刚,高凤菊. 不同间作模式对鲁西北地区玉米-大豆群体光合物质生产特征的影响[J]. 核农学报,2016,30(8):1646-1655.

[20] 李长红,许海涛,孙联合. 夏玉米形态指标、氮肥利用及抗倒特性对密度与氮肥耦合效应的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):63-70.

[21] 张桂萍,MUKTI M,李薇薇,等. 不同玉米品种的茎秆性状对茎秆弹性和耐密性的响应[J]. 华北农学报,2024,39(2):79-89.

[22] 李娜娜,杨锦忠,郝建平. 肥密逆境对玉米果穗高维几何大小的影响及其与产量的关系[J]. 核农学报,2011,25(3):563-569.

[23] 何海军,王晓娟. 复合群体中玉米光合特性日变化研究[J]. 玉米科学,2006(1):104-106.

[24] 马红珍,田　媛,吴　寅,等. 玉米果穗物质生产、分配与水分含量动态变化研究[J/OL]. 玉米科学,2024:1-16(2024-03-27)[2024-09-02]. https://link.cnki.net/urlid/22.1201.S.20240325.1710.002.

[25] 刘文童,监立强,郭晋杰,等. 玉米穗部性状及其一般配合力的关联分析[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(3):706-715.

[26] 郭书磊,王　瑛,魏良明,等. 不同生态条件下玉米产量影响因素分析[J]. 作物杂志,2023(3):205-214.

[27] 孙智超,张吉旺. 弱光胁迫影响玉米产量形成的生理机制及调控效应[J]. 作物学报,2023, 49(1):12-23.

[28] 黄　婷,张思亲,王治中,等. 玉米自交系 ZOL-1 姊妹系的农艺性状分析[J]. 西南农业学报,2022,35(3):491-496.

[29] 王美霞,陈保国,张之奇,等. 早熟玉米杂交组合主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J]. 种子,2021,40(1):108-111,127.

[30] 李红梅,冒宇翔,章慧敏,等. 鲜食糯玉米-鲜食大豆不同间作行比配置下产量与综合效益分析[J]. 大麦与谷类科学,2023,40(5):45-49,62.

（下转第 28 页）

戈芹英,董诗铝,鲁艳芳,等. 山地烟后“早秋大麦”避旱栽培技术及效益分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):25-28(2025-01-09). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.004.

山地烟后“早秋大麦”避旱栽培技术及效益分析

戈芹英[1],董诗铝[1],鲁艳芳[1],许红丽[1],程加省[2*]
(1. 云南省保山市隆阳区农业技术推广中心,云南 保山 678000; 2. 云南省农业科学院粮食作物研究所,云南 昆明 650200)

摘要:云南省保山市隆阳区是云南省烤烟大区,针对粮食和饲料生产与烤烟生产不协调的问题,为保证粮食和饲料的稳定供应和经济可持续发展,根据生产实际情况和气候条件,研究发现烤烟连茬“早秋大麦”为该区最佳生产模式。隆阳区山地烤烟连作“早秋大麦”避旱绿色高效栽培技术包括品种选择、种子处理、适时播种、土地整理、肥料管理、病虫草害防治、收获及仓储管理等技术措施,分析了该模式的经济效益、生态效益与社会效益,同时提出了发展建议,为隆阳区农业可持续发展提供参考。

关键词:连茬;早秋大麦;避旱;栽培技术;效益
中图分类号:S512.3　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20240089

云南省保山市隆阳区国土总面积 5 011 km^2,其中山区、半山区占总面积的 92.6%,第二次全国土地调查数据显示该地区耕地面积为 89 240 hm^2, 其中水田面积 27 240 hm^2,旱地面积 62 000 hm^2。耕地以山地为主,为发展经济,全区烤烟常年种植不低于 5 333.3 hm^2,到 2023 年烤烟面积发展到 14 000 hm^2,在保粮的前提下,烤烟上山是大政方针。为此,隆阳区在山地大力发展大麦,既能保住烤烟面积又能解决粮经争地、同时解决饲料紧张问题。目前,全区山地大麦常年种植面积 6 666.7 hm^2,是全省种植大区之一,成为旱地小春主要作物。隆阳区干湿季节分明,水利基础设施薄弱,冬春干旱已常态化,旱地生产完全是“雨养农业”,自然降水的多寡是小春能否获得高产的关键。为保证隆阳区烤烟正常移栽及畜牧业的饲料供应, 急需解决大麦的稳产高产问题,因此,隆阳区急需探索大麦避旱早栽技术,以期获得高产。烟后“早秋大麦”避旱栽培是在隆阳区秋季烤烟收获结束后,利用早秋气温、土壤墒情及时播种,从而获得高产高效的栽培模式。烟后大麦种植时间和收获时间较早,即在烤烟于 9 月初收获结束及时整地播种大麦, 若在 9 月中下旬开始种植,次年 2 月底—3 月初成熟, 可缓解隆阳区山地烤烟种植较早、大小春争地的矛盾。该技术在经济林地应用,可同时解决经济林地冬春无其他作物以及烟后连作和经济林套种的“粮经争地”矛盾,提高旱地复种指数,减少荒山荒地,有效满足粮经饲需求,具有较好的经济、社会和生态效益。

收稿日期:2024-09-11;修回日期:2024-12-30。
作者简介:戈芹英(1972—),女,高级农艺师,主要从事稻麦育种及试验示范推广工作。Email: ynbsgqy2018@163.com。
* 通信作者:程加省(1980—),男,硕士,研究员,主要从事麦类育种及栽培工作。Email: 624586835@qq.com。

1　烟后早秋大麦高产典型

2017 年在海拔 1 950 m 的云南省保山市隆阳区辛街乡邵家山村山地种植保大麦 8 号 “早秋大麦”样板 47 hm^2,核心样板 7.2 hm^2。区乡科技人员对邵家山百亩保大麦 8 号 “早秋大麦” 样板通过好、中、差代表调查测产 10 块田,有效穗数为 19.6 万 ~ 24.8 万个 /667 m^2,每穗粒数为 43.2 ~ 51.2 粒,最高单产 482.5 kg/667 m^2,最低单产 321.8 kg/667 m^2(表 1)。2017 年 2 月 27 日, 云南省农业科学院组织省级验收,专家通过好、中、差 3 块地实打验收,认定 7.2 hm^2 加权平均单产 5 755.35 kg/hm^2,较常规播种增加大麦产量 600 ~ 900 kg/hm^2,增加产值 1 200 ~ 1 800 元 /hm^2。

2　烟后早秋大麦避旱高产栽培技术

烟后“早秋大麦”通过采取“三早一重”技术,即选用早熟春性品种、提早播种、重施底肥、提早收获,达到避旱减灾、增产增效的目的。关键技术具体如下。

2.1　科技创新,良种是核心

“早秋大麦”生育前期温度较高,无霜期长,收获期早,因此品种应选择已经通过审定的春性早熟

品种，如云大麦 12 号、保大麦 8 号、保大麦 14 号、保大麦 20 号、保大麦 22 号等。

2.2　发挥潜力，良法是基础

2.2.1　种子处理，增强活力。播种前晒种 1 ~ 2 d，利于打破种子休眠，在提高发芽率的同时起到杀菌作用。早秋大麦种期温度高、湿度大、地下害虫多、病害容易发生，因此，大麦种子应进行处理，每 10 kg 用 6%戊唑醇悬浮种衣剂 5 mL 对水 200 mL 稀释拌种处理。

2.2.2　科学配方，精准施肥。烟后“早秋大麦”大多数种植于山地，生育期间无法灌水，造成生育期间施肥困难，因此，按照“前促、中平、后无”的施肥原则，采用“一炮轰”的施肥方式，重施基蘖肥，根据降水在拔节期、孕穗初期补施少量氮肥作平衡肥。“早秋大麦”所用耕地上茬作物是烟草，农药化肥施入量过多，可在整地前多撒腐熟农家肥，增加土壤中的有机质含量，同时改善土壤，利于保水保肥，提高产量，农家肥的用量为 1 500 ~ 2 000 kg/667 m^2；在重施农家肥的同时，施纯氮（N）10 ~ 12 kg/667 m^2，磷（P_2O_5）8 ~ 10 kg/667 m^2，钾（K_2O）5 ~ 6 kg/667 m^2，3 者混合作种、底肥施下[1]。通过机械打田，使肥料与土壤混合，切记勿覆盖在种子表面，以免灼伤种芽，影响出苗。大麦分蘖期，抢雨水追施尿素 5 ~ 8 kg/667 m^2 作分蘖肥；抽穗灌浆期由于干旱缺水，可叶面喷施 0.3%磷酸二氢钾和 1%尿素 1 ~ 2 次。

表 1　早秋大麦农艺及产量性状

品种	田块	株高 /cm	有效穗数 /（万个 /667 m^2）	穗粒数 /（粒 / 穗）	千粒质量 /g	产量 /（kg/667 m^2）
保大麦 8 号	1	104	24.8	51.2	38.0	482.5
	2	102	24.1	50.3	38.0	460.6
	3	87	23.8	50.5	38.0	456.7
	4	114	24.8	46.7	38.0	440.1
	5	105	23.1	48.3	38.0	424.0
	6	98	23.3	47.4	38.0	419.7
	7	99	23.2	45.6	38.0	402.0
	8	92	21.3	46.8	38.0	378.8
	9	95	22.5	45.1	38.0	385.6
	10	93	19.6	43.2	38.0	321.8

2.2.3　抢墒整地、精量播种。“早秋大麦”为避过冬春连旱，播期较早，一般在 9 月中、下旬土壤水分充足的情况下抢墒播种，确保苗全、苗齐、苗匀、苗壮，增加抗旱、抗寒力。上茬收获后，及时整地清理烟秆、残膜、杂草，然后机耕或畜耕，均匀撒播，浅旋耕翻盖或用耙锄盖种，做到不露种即可。由于早秋大麦生育前中期温度较高，土壤水分充足，因生长发育快而分蘖少，后期干旱成穗低，因此要适当加大播种量，保证足够的基本苗数，依靠主茎成穗获高产[2-3]。一般大麦播种量 10 ~ 12 kg/667 m^2，保证基本苗数为 20 万 ~ 22 万株 /667 m^2，播种采用撒播或条播。条播开沟深 3 ~ 5 cm、行距 23 cm 左右。播种后及时清沟沥水，预防涝害发生。

2.3　绿色防控，精准处理

2.3.1　病虫草害防治。一方面在烤烟收获后及时清理烟秆、残膜、杂草等降低病虫草害发生率；另一方面精量播种合理密植，在减氮增施有机肥及磷钾肥的情况下提高植株抗性，减轻病虫害的发生。人工除草外结合化学除草，化学除草时应注意除草剂种类、施用适期和浓度，以免引起药害。杂草 2 ~ 3 叶时，用 25%绿麦隆 250 g/667 m^2 防除杂草。“早秋大麦”生长后期主要虫害为蚜虫，在拔节期、抽穗期用“戈锐利”[联苯·吡虫啉，总有效成分含量（质量分数，下同）27%，其中联苯菊酯含量 4.5%、吡虫啉含量 22.5%]30 ~ 40 mL/667 m^2 或“谱格”（成分：22%噻虫·高氯氟，其中高效氯氟氰菊酯含量 9.4%、噻虫嗪含量 12.6%）30 ~ 40 mL /667 m^2 等进行虫害防治；防治白粉病、锈病用“粉锈宁”（有效成分：三唑酮含量 15%）60 ~ 80 g/667 m^2 或 “迈腾”[苯甲·咪菌脂，总有效成分含量(质量浓度，下同)325 g/L，其中苯醚甲环唑含量 125 g/L、醚菌脂含量 200 g/L]30 ~ 50 g/667 m^2，整个生育期防治病虫 2 ~ 3 次，达到一喷多防多治。

2.3.2　鼠害、鸟害防治。由于现在生态较好，鸟类较多，烟后山地“早秋大麦”灌浆成熟早，理应鸟害重，

但适宜山地播种的大麦品种麦芒较长，鸟难取食，故鸟的危害不大，所以田间防治鼠害是关键。鼠害可通过放药物、抓鼠器等防治鼠害[1,4]，如每 667 m^2 投放“溴敌隆”[有效成分：3-[3-(4- 溴联苯基)-3- 羟基 -1- 苯基丙基]-4- 羟基香豆素含量 (质量分数) 0.1% ~ 0.5%]20 ~ 30 堆，每堆 100 ~ 150 g 或采用抓鼠器等防治鼠害。

2.4 适时收储，提高品质

为保证大麦品质和产量，“早秋大麦”基本以山地种植为主，多数采用人工收获，因此应在蜡熟期即茎叶 75%以上枯黄时人工收获，若可以机械收获，应在完熟期即所有植株枯黄后收获。也可在蜡熟期即茎叶 75%以上枯黄时，整株收获，作为饲料。

收获后及时晾晒，当籽粒水分少于 13%后及时入库存于避光、干燥、通风、无毒、无药的地方，入库后注意防虫防鼠。

3 周年效益分析

3.1 经济效益

调查显示，烤烟平均经济效益 75 000 元 /hm^2，隆阳区山地大麦籽粒平均产量 6 000 kg/hm^2，大麦如果作为青贮饲料，生物产量可在 22 500 kg/hm^2 以上，大麦直接经济效益 12 000 元 /hm^2，2 季经济效益 87 000 元 /hm^2。此外，大麦配合玉米作饲料，有助于家畜提高品质，改善风味，提高饲料报酬率[5]。相关研究表明，在猪饲料中添加 15% ~ 20%的大麦代替玉米，可提高 6% ~ 9%的瘦肉率[6]。在反刍动物日粮中添加大麦，能够改善奶牛的产奶性能及牛奶中的乳成分[7]。大麦也是生产高档牛肉较好的能量饲料，饲料中添加大麦可以育肥肉牛，使其胴体脂肪硬挺，品质更佳[6]，利于市场竞争，提高养殖效益。

3.2 生态效益

山地早秋大麦结合土壤墒情早播，不需灌溉出苗水，重施底肥，结合雨水追肥，减少了田间用水量；大麦作为全株饲料，不产生废弃秸秆，不会对环境造成污染；大麦相对于小麦抗病性更强，减少了田间农药施用量，另外由于前作是烤烟，遗留肥料较多，播种大麦所需氮肥(纯 N 10 ~ 13 kg/667 m^2)相较其他前作如玉米，可减少尿素用量 2 ~ 7 kg/667 m^2[7]，减少了农药化肥面源污染，更有利于生态环保[8]；利于休耕养地，山地大麦 3 月上旬收获结束，隆阳区烤烟开始育栽在 4 月 20 号左右，中间休耕养地 1 个月以上，利于土壤“休养生息”，提高地力。

3.3 社会效益

隆阳区是烤烟大区，每年烤烟面积不低于 5 333.3 hm^2，2023 年达到 14 000 hm^2，平均经济效益 75 000 元 /hm^2。烤烟是农民的钱袋子，是脱贫攻坚、乡村振兴的抓手之一，为缓解粮经饲争地，结合烤烟上山的政策，对下一季作物选择非常关键，要做到两不误，解决粮经饲争地、两季争地及用工紧张矛盾，大麦是首选，同时保证烤烟面积，利于社会发展。

2008 年起隆阳区一直被列为“全国生猪调出大县”。2023 年末，全区生猪存栏 81.78 万头，牛存栏量 17.107 1 万头，山区脱贫一部分靠养殖猪、牛，青贮大麦或成熟大麦籽粒及秸秆都是很好的饲料，为养殖业提供了保障，并且大麦作为饲料提高了猪、牛肉的品质，有利于人类健康饮食的需求，从而提高生活品质。

4 发展建议

粮食安全永远是核心，由于隆阳区经济作物与粮食作物争地比较明显，下一步的发展建议：一是通过项目实施及科技培训等进一步推广该模式，有效解决粮经饲需求平衡；二是结合烤烟、高标准农田等农业项目提高农田生产力，把“雨养农业”变为可控设施农业，提高农业抗自然灾害能力；三是成立合作社等形式，通过宣传及店铺方式让市场了解认可以大麦作饲料生产的优质猪、牛肉，体现优质优价，提高种养农户收益。

参考文献：

[1] CHENG J X,QIAO X M,ABBAS S,et al. Effects of nitrogen reduction on wheat yield and quality in different ecological environments[J]. African Journal of Agricultural Research, 2024,20(9):760-769.

[2] 程加省,于亚雄,杨金华,等. 云南早秋地麦高产优质栽培技术[J]. 云南农业科技,2011(6):37-38.

[3] 程加省,郑树东,乔祥梅,等. 宽窄行中耕促茎节长根超高产麦类栽培技术[J]. 种子科技,2024,42(5):55-57.

[4] 赵加涛. 保山市小杂粮生产现状及发展对策[J]. 农业科技通讯,2017(11): 38-41.

[5] 张　融,李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景[J]. 中国食物与营养,2015,21(7):27-31.

[6] 王　婷,王传奇,张　晶. 非常规饲料原料大麦在饲料中的应用[J]. 中国兽医学报,2024,44(2):432-436.

[7] 刘婷婷,孟静娇,陈国斌,等. 云南保山中低海拔玉米起垄防涝栽培技术[J]. 农业科技通讯,2024(1):137–140.
[8] 任孝忠,李惠吉,邹俊超,等. 农家肥与化肥梯度减施对小麦农艺性状及产量的影响[J]. 大麦与谷类科学,2021,38(4):29–33.

Drought–avoiding Cultivation Techniques of Early Autumn Barley and Its Benefit Analysis in Mountainous Areas After Tobacco

GE Qinying[1], DONG Shilyu[1], LU Yanfang[1], XU Hongli[1], CHENG Jiasheng[2]
(1. Agricultural Technology Extension Center of Longyang District, Baoshan City, Yunnan Province, Baoshan 678000, China;
2. Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200, China)

Abstract: Longyang is the tobacco region in Yunnan Province. The production of grain and feed is not in harmony with the production of tobacco. In order to ensure the stable supply of grain and feed and the sustainable development of economy, according to the actual production situation and climatic conditions, it is found that developing early autumn barley with continuous cropping of tobacco is the best production mode in this region. This paper introduces the green and high-efficient cultivation drought-avoiding techniques of continuous cropping of tobacco-early autumn barley in Longyang District, including selection of barley varieties, seed treatment, sowing date, land consolidation, fertilizer management, diseases, pests and weeds control, harvest and storage management, and analyzes the economic, ecological and social benefits and development suggestions of this model, which provides technical reference for the sustainable development of agriculture in Longyang District.

Key Words: Continuous cropping; Early autumn barley; Drought avoidance; Cultivation technique; Benefit

（上接第 24 页）

Effects of Soybean–Maize Strip Intercropping Pattern on Maize Characteristics, Crop Yield and Economic Benefits

DING Yidong, LIU Xiaofei, LAI Shangkun, XIA Qianhao
(Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China)

Abstract: The technology of soybean-maize strip intercropping plays an important role in improving soybean production and resolving the conflict between grain and oil for land. We examined the effects of changes in row ratio of soybean to maize (4S2M, 4S4M, 6S2M and 6S4M) on plant morphology, crop yield and overall economic benefits, aiming to provide theoretical support for strip intercropping pattern and maize variety selection in Jiangsu Province. The results showed that the changes of soybean and maize strip intercropping pattern did not significantly affect the maize morphological characteristics, but affected the yield per panicle by influencing the parameters of corn ears. The model of 4S4M had the highest gross economic benefits while the model of 6S2M had the lowest gross economic benefits, and the maize variety Qianyu 180 could highlight the advantages of the 4S4M model (for example, its gross economic income can reach 2 144 yuan/667 m^2). Therefore, the combination of corn variety Qianyu 180 and 4S4M model in northern Jiangsu Province can produce higher economic benefits.

Key Words: Row ratio configuration; Yield per panicle; Gross economic benefits; Strip intercropping

陈先东,吴向东,杨万新. 直播稻“干播湿出”模式不同播种深度条件下水层对水稻出苗的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):29-33 (2025-01-24).https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.005.

直播稻“干播湿出”模式不同播种深度条件下水层对水稻出苗的影响

陈先东,吴向东*,杨万新
(新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所,新疆 阿拉尔 843300)

摘要:随着现代农业的发展,机械化程度提高,水稻机械直播技术得到发展,在水稻直播中出苗保苗是直播稻取得高产的主要技术因素之一。通过室内试验,在直播稻“干播湿出”模式下研究播种深度、水层对水稻出苗的影响,以确认最适的播种深度和水层,增加直播稻保苗率,最终达到高产的目的。试验表明:播深 0 cm、水层深度为 0 cm 时,隶属函数为 0.949,在各处理中表现最好,表明对水稻出苗及苗期生长最有利。直播稻“干播湿出”种植最关键的是保全苗,在此种方式下,水稻出苗率随播种深度及水层的增加均呈下降趋势;当播种深度为 0 cm,水层≤2 cm 时水稻出苗受影响较小,当水层到 5 cm 时,水稻出苗受到较为明显的抑制;播种深度在 2 cm 时,0 cm 水层出苗受影响但不明显,当水层增加至 2 cm 时出苗率受到抑制,当水层增加至 5 cm 时,水稻出苗率明显下降,即受到严重抑制,最终对水稻产量影响较大。因此,在大田生产播种过浅的情况下,需要考虑种子裸露在土壤表面易受鸟害等因素的影响,且为保证出苗保苗率,在浅播情况下需要适当保持浅水层。

关键词:直播稻;“干播湿出”;播深;水层;出苗
中图分类号:S511　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20240096

随着农业机械化程度的提高、高效除草剂的成熟以及直播品种选育的成功,水稻直播栽培技术得以迅速发展。近年来,该技术在亚洲国家得到快速推广。在我国的新疆生产建设兵团及宁夏黄灌稻区,直播栽培已成为当地生产主栽方式[1]。

据调查,目前我国直播稻主要采用人工撒播、穴播、机械直播等方式,占水稻种植总面积的 10%[2]。南疆垦区水稻生产受水资源紧张、劳动力缺乏等因素影响,人工撒播存在出苗差、出苗不均匀、根系入土浅、生产成本高等弊端,而采用机械直播技术有效克服了以上弊端[3]。新疆直播稻主要以旱直播为主,“干播湿出”是旱直播(播后上水)的一种种植方式,具有节水、节种、节本、增产增效的优势,在生产实践中具有重要的推广意义。但是在实际大田生产中直播稻仍有许多问题需要解决,其中播种深度和水层深度对直播稻的出苗尤为重要,诸如播种过深,种子拱土难,导致水稻出苗难;播种过浅,种子裸露在表面,易遭受鸟害,导致最终保苗率下降。同时,水层深度是影响种子出苗保苗的另一个重要因素,水层过深不利于水稻出苗,且出苗后秧苗素质较差,最终影响水稻产量。因此本试验通过研究直播稻“干播湿出”模式下不同播种深度及水层对水稻出苗的影响,旨在探讨适宜的播种深度及合理的水层,为南疆直播稻的优质高产提供理论依据。

收稿日期:2024-09-27;修回日期:2025-01-16。
基金项目:新疆兵团第一师科研计划(2024NY01)。
作者简介:陈先东(1990—),男,助理研究员,主要从事水稻育种栽培工作。Email: 244849202@qq.com。
* 通信作者:吴向东(1966—),男,副研究员,主要从事水稻育种栽培工作。Email: Nkssdz@163.com。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试品系为新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所自育新品系阿农粳 5 号,该品系全生育期 156.5 d,株高 104.1 cm,穗长 21.7 cm,收获穗数 19.2 万穗 /667 m^2,总粒数 134.7 粒 / 穗,空粒数 13.0 粒 / 穗,结实率 90.3%,千粒质量 29.2 g,产量在 750 kg/667 m^2 左右。

1.2　试验设计

试验采用室内盆栽土培(盆含高度刻度,长、宽、高分别为 25、15、20 cm),每盆装 10 cm 厚土层,设置 0、2 cm 2 个播种深度;每个播种深度下设置 0、2、5 cm 3 个水层深度,共 6 个处理,3 次重复,各处理播种满足要求的种子 50 粒。各处理装入相同量的土壤,按照播种深度要求播种,播好种后浇水,各处理浇水至相应的刻度,每天对各处理浇水补充至

相应刻度。其中处理Ⅰ设为对照。于 2021 年 8—9 月在新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所实验室进行。播种后进水，按照各试验处理保持水层深度，其中 0 cm 水层需保持土壤始终处于湿润状态，2、5 cm 水层深度需及时补充水分以保持水层深度，并于 7 d 换水 1 次，试验期内共换水 3 次。

表 1　各试验处理

处理	内容
Ⅰ（CK）	0 cm 播深、0 cm 水层
Ⅱ	0 cm 播深、2 cm 水层
Ⅲ	0 cm 播深、5 cm 水层
Ⅳ	2 cm 播深、0 cm 水层
Ⅴ	2 cm 播深、2 cm 水层
Ⅵ	2 cm 播深、5 cm 水层

1.3　测定项目及方法

1.3.1　室内发芽率的测定。为保证试验的正常进行，需进行前置性试验，对种子的发芽势和发芽率进行测定。在室内光照条件下，分别选取 50 粒饱满、干燥和无病种子平铺于垫有滤纸的培养皿中，加入 10 mL 清水进行发芽培养，设 3 次重复。

发芽势 =（3 d 发芽种子数 / 供试种子数）× 100%；

发芽率 =（15 d 发芽种子数 / 供试种子数）× 100%[4]。

经测定，结果为发芽势 98%，发芽率 100%，满足试验的要求。

1.3.2　测定指标。播后 7 d 调查出苗情况，直至苗数连续 5 d 不变为止，调查各处理出苗数。各处理选择具有代表性的植株 10 株，测定其主根长、根数、株高、10 株地上部分鲜质量、10 株地下部分鲜质量。

1.3.3　各指标计算方法。

出苗率 = 最终出苗数 / 供试种子数 × 100%；

出苗势 = 第 15 天出苗数 / 供试种子数 × 100%；

出苗指数 = $\sum$（G_t/D_t）。式中：G_t 为第 t 天出苗数；D_t 为相应的出苗天数。

活力指数 = 出苗指数 × S。式中：S 为水稻幼苗植株鲜质量（g）。

根冠比 = 地下部分鲜质量 / 地上部分鲜质量[5]。

1.4　数据处理

利用 Excel 2007 对获得的试验数据进行整理，应用 DPS v7.05 分析软件对各试验数据进行分析处理。

采用模糊隶属函数法对水稻苗期生长指标进行综合评价。隶属函数值的计算方法参考文献[6]。其隶属函数值计算公式：综合评价值 $X(\mu)=(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$，式中：$X$ 为参试水稻某一测定值，X_{max} 和 X_{min} 分别为所有处理中该指标的最大值和最小值。先利用公式计算每处理下水稻的出苗率、株高、根数、鲜质量以及具体隶属函数值，然后把每一指标在不同处理下的隶属值累加求平均值，最后把每处理各项指标隶属函数值累加求平均值，根据各材料平均隶属函数值大小确定对水稻生长影响的强弱，平均值越大，影响越强；反之，影响越弱[6]。

相对性状指标 = 各处理下性状测定值 / 对照性状测定值 × 100；

各指标的抑制率（%）=（对照值 − 处理值）× 100%/ 对照值[7]。

2　结果与分析

2.1　不同处理对水稻出苗的影响

从表 2 可以看出，处理Ⅰ（CK）的出苗率、出苗势、出苗指数都是最高，分别为 100%、98.0%、37.8，处理Ⅵ的出苗率、出苗势、出苗指数都是最低，分别为 32.7%、0.7%、5.7，与其他处理间的差异具高度统计学意义（$P<0.01$）。

表 2　各处理对水稻出苗的影响

处理	出苗率 /%	抑制率 /%	出苗势 /%	抑制率 /%	出苗指数	抑制率 /%
Ⅰ（CK）	100.0 aA	0	98.0 aA	0	37.8 aA	0
Ⅱ	100.0 aA	0	78.7 bB	19.7	34.4 abAB	9.0
Ⅲ	80.7 bB	19.3	36.0 cC	63.3	31.6 abcAB	16.4
Ⅳ	96.7 aA	3.3	16.7 dD	83.0	26.2 bcAB	30.7
Ⅴ	77.3 bB	22.7	12.7 dD	87.0	22.0 cB	41.8
Ⅵ	32.7 cC	67.3	0.7 eE	99.3	5.7 dC	84.9

注：同列数据后不同大、小写字母分别表示处理间差异具有高度统计学意义（$P<0.01$）、统计学意义（$P<0.05$）。表 3 同。

2.2　不同处理对水稻苗期各生长指标的影响

从表 3 可以看出，处理Ⅰ（CK）的地下部分鲜质量、出苗数、活力指数均处于最高，分别为 0.43 g、50.00 株、43.45；处理Ⅵ均处于最低，分别为 0.17 g、13.33 株、2.83，与处理Ⅰ（CK）差异有统计学意义；同时处理Ⅵ抑制率最高，分别为 -60.5%、-73.3%、-93.5%，表明对其抑制作用最强。

处理Ⅱ的主根长、株高、地上鲜质量均为最高，分别为 13.23 cm、23.72 cm、0.74 g，处理Ⅵ的最低，分别为 4.97 cm、12.94 cm、0.36 g，与处理Ⅱ差异有统计学意义；同时处理Ⅵ抑制率最高，分别为60.2%、36.0%、50.0%。

各处理间根数差异无统计学意义，表明各处理对水稻根数的影响不大。

处理Ⅰ根冠比（59.72%）最大，处理Ⅱ根冠比（42.15%）最小，两者间的差异具统计学意义。

2.3　不同处理水稻苗期各生长指标的主成分分析

累计方差贡献率达 85%以上即认为相应生长指标具有很强的信息贡献性[8]。对水稻苗期出苗率、根数、根长、株高、鲜质量这 5 个主要生长指标进行主成分分析，结果（表 4）表明，出苗率、根数、根长前 3 个主成分累计贡献率达 96.81%，因此前 3 个主成分能代表 5 个性状基本信息。

表 3　不同处理对水稻苗期各生长指标的影响

处理	主根长 / cm	抑制率 /%	根数 / 根	抑制率 /%	株高 / cm	抑制率 /%	地上鲜质量 /g	抑制率 /%	地下鲜质量 /g	抑制率 /%	根冠比 /%	抑制率 /%	出苗数 / 株	抑制率 /%	活力指数	抑制率 /%
Ⅰ（CK）	12.48 a	0	6.40 a	0	20.23 a	0	0.72 abA	0	0.43 aA	0	59.72 a	0	50.00 a	0	43.45 aA	0
Ⅱ	13.23 a	6.0	6.30 a	1.6	23.72 a	17.3	0.74 aA	2.8	0.31 abB	27.9	42.15 b	29.4	50.00 a	0	38.15 bB	12.2
Ⅲ	10.43 a	16.4	6.57 a	2.7	19.90 a	1.6	0.69 abA	4.2	0.30 bcB	30.2	43.96 ab	26.4	40.33 a	19.3	31.34 cC	27.9
Ⅳ	12.43 a	0.4	6.07 a	5.2	22.96 a	13.5	0.60 bcAB	16.7	0.30 bcB	30.2	50.56 ab	15.3	48.33 a	3.3	23.59 dD	45.7
Ⅴ	9.02 ab	27.7	6.42 a	0.3	20.66 a	2.1	0.47 cdBC	34.7	0.21 cdBC	51.2	45.39 ab	24.0	37.33 a	25.3	15.05 eE	65.4
Ⅵ	4.97 b	60.2	4.95 a	22.7	12.94 b	36.0	0.36 dC	50.0	0.17 dC	60.5	46.30 ab	22.5	13.33 b	73.3	2.83 fF	93.5

表 4　不同处理水稻苗期 5 个生长指标主成分分析

生长指标	特征值	百分率 /%	累计贡献率 /%
出苗率	6.991 3	77.680 9	77.68
根数	1.298 2	14.424 0	92.10
根长	0.423 2	4.702 1	96.81
株高	0.286 5	3.183 9	99.99
鲜质量	0.000 8	0.009 1	100.00

2.4　不同处理水稻出苗率的逐步回归分析

为了定量描述播深、水层对出苗率的影响，以播深（X_1）、水层（X_2）为自变量，通过逐步回归分析，建立与出苗率（Y）的最优回归方程：Y=113.43-12.33X_1-8.51X_2（图 1）。

通过方程可以预测出苗率，当播深（X_1）和水层（X_2）任意一个固定时，出苗率随着另一个的增加而减少。当播深（X_1）最低 0 cm 且水层（X_2）为 1.58 cm 时，出苗率达到 100%；若保持播深不变，水层深度 > 1.58 cm 时，出苗率将 < 100%。当水层（X_2）为 0 cm 且播深（X_1）为 1.09 cm 时，出苗率达到 100%；若保持水层不变，播深 > 1.09 cm 时，出苗率将 < 100%。

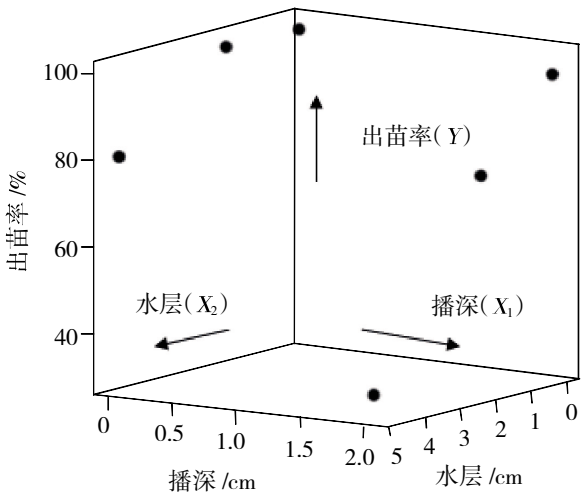


图 1　回归图形

2.5　不同处理下隶属函数值

水稻的生长受多项因素影响，通过运用隶属函数法，用综合评价值对 6 个处理的各项指标进行综合评价。综合评价值越大，表明对水稻苗期的生长越有利。从表 5 可以看出，6 个处理的综合评价值为 0.022 ~ 0.949。其中处理Ⅰ的最高（0.949），处理Ⅵ最低（0.022）。综合评价值由大到小排序为处理Ⅰ（CK）> 处理Ⅱ > 处理Ⅳ > 处理Ⅲ > 处理Ⅴ > 处理Ⅵ。

表 5　不同处理下隶属函数

处理	隶属函数值												
	出苗率	出苗势	出苗指数	主根长	根数	株高	地上鲜质量	地下鲜质量	根冠比	出苗数	活力指数	综合评价值	排序
Ⅰ（CK）	1.00	1.00	1.00	0.91	0.90	0.68	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.949	1
Ⅱ	1.00	0.80	0.89	1.00	0.83	1.00	1.00	0.54	0	1.00	0.87	0.812	2
Ⅲ	0.71	0.36	0.80	0.66	1.00	0.65	0.87	0.50	0.10	0.74	0.70	0.645	4
Ⅳ	0.95	0.16	0.64	0.90	0.69	0.93	0.63	0.50	0.48	0.95	0.51	0.667	3
Ⅴ	0.66	0.12	0.51	0.49	0.91	0.72	0.29	0.15	0.18	0.65	0.30	0.453	5
Ⅵ	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0.022	6

3　讨论

倪道理等研究播种深度对机械旱直播水稻的影响，结果发现播种深度 1 ~ 2 cm 的机械旱直播水稻可以保证基本苗数，有利于后期保持足够的最高总茎数和有效穗数，播种偏深是导致直播稻基本苗严重不足的因素之一[9]。本试验在播种深度为 0 cm 时，随着水层的增加出苗有所降低，但是在水层为 5 cm 时出苗率仍然能够达到 80.7%；当播种深度为 2 cm 时，各水层深度比播种为 0 cm 时有所降低，且随着水层深度增加，出苗率降低的幅度增大；当水层为 5 cm 时，出苗率仅有 32.7%，出苗受到严重的抑制，结果与倪道理等的研究[9]一致。

在播种深度为 0 cm、水层为 0、2 cm 处理下出苗率最高，均为 100%，但是在水层为 2 cm 时只有出苗率、主根长、株高、地上鲜质量、出苗数不受抑制，其余指标均有所抑制，因此在播深为 0 cm 时应保持无水层，促使种子吸收水分后有足够的氧气保证种子发芽出苗，保证出苗率[10]。

直播稻“干播湿出”种植最关键的是保苗数。在“干播湿出”的方式下，水稻出苗率随播种深度及水层的增加均表现为下降趋势。在播种过深的情况下，水层深度对水稻出苗起着关键性的作用，随着水层深度的增加其出苗数会降低，当水层过深时会造成出苗困难，难保全苗，同时幼苗素质弱，群体抗逆性差，最终影响其产量[9-10]。在播种过浅的情况下，水层深度也较浅时，水稻出苗数不受影响。由于本试验在室内进行，不存在鸟害等因素影响，因此在播深 0 cm、水层 0 cm 时出苗率最高。但是在大田生产中，需考虑种子裸露在土壤表面易受鸟害等因素的影响，导致保苗率并不理想，为保证出苗保苗率，需要进行浅播种或者浅灌水。

4　结论

水稻出苗率受播深和水层的影响，且均呈负相关。本试验表明：处理Ⅰ（CK）即播深 0 cm、水层深度为 0 cm 时隶属函数为 0.949，在 6 个处理中表现最好，对水稻出苗及苗期生长最有利。

直播稻“干播湿出”种植最关键的是保全苗，在“干播湿出”方式下，水稻出苗率随播种深度及水层的增加均呈下降趋势；当播种深度为 0 cm、水层≤2 cm 时水稻出苗受影响较小，当水层为 5 cm 时，水稻出苗受到较为明显的抑制；播种深度在 2 cm、水层 0 cm 时出苗受影响但是影响不大，当水层增加至 2 cm 时，出苗率受到抑制；当水层增加至 5 cm 时，水稻出苗率明显下降，受到严重抑制，最后对水稻的产量影响较大。因此，在大田生产播种过浅的情况下，需要考虑种子裸露在土壤表面易受鸟害等因素的影响，为保证出苗保苗率，在浅播种情况下需要适当保持浅水层。

参考文献：

[1] 李鹏志，孟维韧，黄好文，等. 不同温度和覆土厚度对粳稻出苗的影响[J]. 种子，2020，39(6)：91-93，98.

[2] 刘利成,闵　军,刘三雄,等. 直播稻生产概况与品种选育策略[J]. 中国稻米,2022,28(5):44-48,56.
[3] 吴文俊,王奉斌. 南疆垦区水稻精量直播高产栽培技术[J]. 新疆农垦科技,2014,37(8):8-9.
[4] 陈　盈,李海波,代贵金,等. 不同覆土深度对水稻出苗的影响[J]. 东北农业科学,2021,46(3):7-9,26.
[5] 杨文伟,石亚飞,高　莲,等. 播深和播量对宁夏地区直播稻幼苗素质和产量的影响[J]. 核农学报,2023,37(1):148-158.
[6] 雷　斌,张凤银. 3 个豌豆变种种子萌发及幼苗生长生理对干旱胁迫的响应[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2022,50(6):22-29.
[7] 徐芬芬,王爱斌. 干旱胁迫对大豆种子萌发和幼苗生理的影响[J]. 中国野生植物资源,2022,41(6):8-11.
[8] 陈先东,吴向东,杨万新. 新疆南疆干旱区水稻新品系产量及构成因素分析[J]. 绿洲农业科学与工程,2017,3(4):16-20.
[9] 倪道理,沈庆雷. 播种深度对机械旱直播水稻的影响[J]. 现代农业科技,2013(18):36,39.
[10] 陈先东,吴向东,杨万新. 南疆干旱区不同覆土厚度不同水层条件下对水稻出苗的影响[J]. 北方水稻,2022,52(6):11-15.
[11] 殷春渊,王书玉,刘贺梅,等. 播量和施氮量对直播稻产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(20):1-6.
[12] SUN L M,HUSSAIN S,LIU H Y,et al. Implications of low sowing rate for hybrid rice varieties under dry direct-seeded rice system in Central China[J]. Field Crops Research,2015,175:87-95.
[13] 莫钊文,黄忠林,罗锡文,等. 华南双季水稻机械种植方式的物质生产和积累特性[J]. 中国农学通报,2012,28(3):161-165.
[14] 周燕芝,陈丽明,王文霞,等. 不同直播方式与杂草防除时期对稻田杂草发生及早籼稻产量的影响[J]. 草业学报,2020,29(5):132-140.

Effect of Water Layer on Rice Seedling Emergence Under Different Sowing Depth in "Dry Sowing and Wet Seedling" Mode of Direct-seeding Rice

CHEN Xiandong, WU Xiangdong, YANG Wanxin
(Agricultural Science Research Institute of the First Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Alar 843300, China)

Abstract: With the development of modern agriculture, the improvement of mechanization degree, and the development of rice mechanical direct seeding technology, seedling emergence in direct-seeding rice is one of the main factors for high yield of direct seeding rice. In this experiment, the influence of sowing depth and water layer on rice emergence was studied under the mode of "dry sowing and wet seedling" of direct seeding rice, so as to screen out the most suitable sowing depth and water layer and increase the seedling preservation rate of direct-seeding rice, and achieve high yield. The results showed that the membership function was 0.949 when the sowing depth was 0 cm and the water layer depth was 0 cm, which was the best among all treatments, indicating that it was the most beneficial to rice emergence and seedling growth. The key of "dry sowing and wet seedling" planting is seedling preservation. Under the "dry sowing and wet seedling" method, the rice seedling emergence rate decreased with the increase of sowing depth and water layer. When the sowing depth was 0 cm, the rice emergence was less affected when the water layer was less than 2 cm, and the rice emergence was more obviously inhibited when the water layer was 5 cm. When the sowing depth was 2 cm, the emergence of rice in the 0 cm water layer was affected, but the effect was not obvious. When the water layer was increased to 2 cm, the emergence rate was inhibited. When the water layer was increased to 5 cm, the emergence rate of rice was significantly decreased and severely inhibited, which ultimately had a greater impact on rice yield. Therefore, in the case of shallow sowing in field production, it is necessary to consider the influence of the seeds exposed on the soil surface and other factors such as bird damage. In order to ensure the seedling preservation rate, the water layer should be properly maintained under the condition of shallow sowing.

Key Words: Direct-seeding rice; "Dry sowing and wet seedling"; Sowing depth; Water layer; Seedling emergence

王　敏,胡萌萌,赖　雯,等. 不同品种混合种植对小麦农艺性状及产量的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):34-36,59(2025-02-08). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.006.

不同品种混合种植对小麦农艺性状及产量的影响

王　敏,胡萌萌,赖　雯,郭玲玲,李　露,池宝明,张燕青,李翊阁
(宝鸡市农业技术推广服务中心,陕西 宝鸡 721001)

摘要:为种植大户探索一种简便的增产模式,通过比较伟隆 169 单播、西农 865 单播、陕道 198 单播、1/3 伟隆 169 + 2/3 陕道 198 混种、1/2 伟隆 169 + 1/2 陕道 198 混种、2/3 伟隆 169 + 1/3 陕道 198 混种、1/2 伟隆 169 + 1/2 西农 865 混种、1/2 西农 865 + 1/2 陕道 198 混种 8 个处理的小麦农艺性状、产量及其构成因素,发现 1/3 伟隆 169 + 2/3 陕道 198 混种、1/2 伟隆 169 + 1/2 陕道 198 混种产量依次居前 2 位,分别较陕道 198 单播增产 1.43%、1.38%,且分别较伟隆 169 单播增产 9.43%、9.35%。虽然混种产量与单播产量差异无统计学意义,但操作简便,不增加生产成本,对种植大户而言,仍可提高一定的经济效益。建议结合地力、气候选择伟隆 169 和陕道 198 混种。

关键词:小麦;混种;单种;比较;增产
中图分类号:S512.1　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20240108

不同品种小麦混种后,产量可能与单播形成差异。陈企村研究表明,小麦品种混种与单播产量的平均数比较,混种产量平均增加 3.8%[1]。张娉等研究表明,混种具有控制病害和稳产的作用[2]。王红丽等研究发现,小麦混种组合中各组分的比例会影响混种防病增产效应[3]。可见,小麦品种混种能够发挥增产稳产的作用,且具有低成本、操作简便等特点[2]。目前,暂未发现关中西部地区小麦开展混种有关研究。为探索适宜当地的简便增产模式,试验组结合实际,在关中西部地区开展小麦混种与单播比较试验,以期为生产提供参考。

1　材料与方法

供试小麦品种 3 个:伟隆 169、西农 865、陕道 198。参照陈企村等的研究报告[1-3],综合操作便利性,按照表 1 设置 8 个处理。

试验在宝鸡市岐山县凤鸣镇河远村东试验田(107°35′21″E、34°25′16″N)开展,土质为塿土,地力水平中等,前茬为玉米。该村位于关中西部,属渭北台塬,为半干旱区域,昼夜温差大,年降雨集中在 7—9 月。各处理田间管理措施一致,2023 年 10 月 26 日采用宽幅沟播[4]方式播种,播种量 15 kg/667 m^2。穗期开展“一喷三防”2 次。2024 年 6 月 4 日成熟、收获。自然风干后测穗下节长[5]、穗长、穗质量、小穗数[6]、穗粒质量、地上部生物量[7]等。

表 1　不同处理品种配比

处理编号	品种配比
CK1	伟隆 169
CK2	西农 865
CK3	陕道 198
T1	1/3 伟隆 169 + 2/3 陕道 198
T2	1/2 伟隆 169 + 1/2 陕道 198
T3	2/3 伟隆 169 + 1/3 陕道 198
T4	1/2 伟隆 169 + 1/2 西农 865
T5	1/2 西农 865 + 1/2 陕道 198

2　结果与分析

2.1　小麦农艺性状比较

由表 2 可知,8 个处理株高在 66.65 ~ 70.69 cm,T1 株高显著高于其他处理($P<0.05$)。CK2 穗下节长最长,平均为 23.20 cm,显著长于 CK3(平均为 20.08 cm,$P<0.05$),与其他处理之间差异无统计学意义。各处理穗长分布在 7.39 ~ 8.41 cm,CK2 与 CK1 差异无统计学意义,但显著长于其他 6 个处理($P<0.05$);T2 显著长于 CK3 和 T1($P<0.05$);T3显著长于 T1($P<0.05$)。各处理间地上部生物量差异

收稿日期:2024-10-31;修回日期:2025-01-26。
作者简介:王　敏(1984—),男,硕士,农艺师,主要从事农业技术推广。Email: wwmm386@126.com。

无统计学意义，CK2 地上部生物量最高，为 4.65 g，T5 最低，为 4.20 g。8 个处理穗质量在 2.82 ~ 3.25 g，CK2 显著高于 T1（$P<0.05$），与其他 6 个处理差异无统计学意义。T1 穗质量在所有处理中最低，而其株高最高，这可能与营养生长较快，一定程度上影响生殖生长有关。各处理穗粒质量在 2.33 ~ 2.67 g，CK2 显著高于 T1 和 T5（$P<0.05$），与其他 5 个处理差异无统计学意义。T1 穗粒质量在所有处理中最低，与穗质量表现一致，说明了营养生长对生殖生长的影响。CK2 小穗数最多，与 CK3 和 T5 差异无统计学意义，但显著多于其他 5 个处理（$P<0.05$）；CK3 显著多于 CK1、T3 和 T4（$P<0.05$），CK1 小穗数最少。

2.2 小麦产量及其构成因素比较

由表 3 可知，8 个处理产量在 8 223.75 ~ 9 192.20 kg/hm^2，各处理间差异无统计学意义，产量位次：T1 ≥ T2 ≥ CK3 ≥ T5 ≥ CK1 ≥ T4 ≥ CK2 ≥ T3，T1、T2 比 CK1 分别增产 9.43%、9.35%。从产量构成因素看，各处理穗数、千粒质量差异均无统计学意义，而 CK2 和 CK3 穗粒数均显著多于 T1（$P<0.05$），其余 5 个处理间差异无统计学意义。穗数位次：T2 ≥ T1 ≥ CK1 ≥ CK3 ≥ T4 ≥ T3 ≥ T5 ≥ CK2。穗粒数位次：CK3 ≥ CK2 ≥ T2 ≥ CK1=T3 ≥ T5 ≥ T4 ≥ T1。千粒质量位次：T5 ≥ CK2=CK3 ≥ T4 ≥ T3 ≥ T1 ≥ CK1 ≥ T2。综合地看，T1 产量最高，主要因为穗数较高；T2 产量第 2，主要因为最高的穗数和较多的穗粒数。T3 的穗数、千粒质量、穗粒数在各处理中均处于中游，但产量最低，说明产量构成因素间未达到平衡。

表 2　各处理小麦农艺性状比较

处理	株高 /cm	穗下节长 /cm	穗长 /cm	地上部生物量 /g	穗质量 /g	穗粒质量 /g	小穗数 /（个 / 株）
CK1	67.31 b	21.79 ab	8.14 ab	4.49 a	3.04 ab	2.48 ab	17.9 d
CK2	68.36 b	23.20 a	8.41 a	4.65 a	3.25 a	2.67 a	19.9 a
CK3	66.84 b	20.08 b	7.60 cd	4.49 a	3.02 ab	2.49 ab	19.8 ab
T1	70.69 a	22.28 ab	7.39 d	4.25 a	2.82 b	2.33 b	19.0 bcd
T2	66.88 b	21.75 ab	8.09 b	4.43 a	3.05 ab	2.48 ab	18.7 bcd
T3	67.60 b	22.49 ab	8.00 bc	4.34 a	3.02 ab	2.47 ab	18.0 d
T4	66.65 b	21.29 ab	7.89 b	4.28 a	2.92 ab	2.39 ab	18.4 cd
T5	67.39 b	22.26 ab	8.06 b	4.20 a	2.94 ab	2.35 b	19.5 abc

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异有统计学意义（$P<0.05$）。表 3 同。

表 3　小麦产量及其构成因素比较

处理	穗数 /（万穗 /667 m^2）	穗粒数 /（粒 / 穗）	千粒质量 /g	产量 /（kg/hm^2）	产量位次
CK1	32.43 a	51.50 ab	46.24 a	8 400.20 a	5
CK2	28.70 a	55.75 a	46.56 a	8 348.30 a	7
CK3	30.87 a	56.00 a	46.56 a	9 060.40 a	3
T1	33.10 a	48.00 b	46.27 a	9 192.20 a	1
T2	34.03 a	53.50 ab	46.09 a	9 185.45 a	2
T3	29.57 a	51.50 ab	46.42 a	8 223.75 a	8
T4	30.07 a	50.88 ab	46.50 a	8 382.10 a	6
T5	29.33 a	51.38 ab	46.61 a	8 423.75 a	4

2.3 不同处理小麦产量相关性分析

对 8 个处理产量的相关分析（表 4）表明，CK1 与 T2 呈极显著正相关，与 T3 呈负相关，与 T1、T4 呈极显著负相关；CK2 与 T4 呈极显著负相关，与 T5 呈正相关；CK3 与 T1 呈负相关，与 T2、T3 呈正相关。以上表现，说明混种增产效应受搭配品种及其比例的影响。T2 与 CK1、CK2 均呈极显著正相关，说明伟隆 169、陕道 198 这 2 个品种对半混种时，保持

着各品种单播时的产量趋势。

表 4　不同处理小麦产量相关性

相关系数	CK1	CK2	CK3	T1	T2	T3	T4	T5
CK1	1							
CK2	0.99*	1						
CK3	0.64	0.52	1					
T1	−1.00**	−0.97*	−0.71	1				
T2	0.99**	1.00**	0.55	−0.98*	1			
T3	−0.57	−0.68	0.26	0.49	−0.66	1		
T4	−1.00**	−1.00**	−0.57	0.98*	−1.00**	0.64	1	
T5	0.41	0.54	−0.43	−0.33	0.51	−0.98*	−0.49	1

注：*、** 分别表示显著相关（$P<0.05$）、极显著相关（$P<0.01$）。

3　讨论与结论

陈企村分析发现，小麦品种混种优势常大于劣势，混种组分与组分间以及组分与周围环境（包括生物性或非生物性逆境）间的相互作用基本朝经济上有利的方向发展[1]。王红丽等试验地在甘肃省天水市甘谷县，该地土质与本研究中的土质接近，其研究发现，品种混种对产量的效应比较复杂，可能会产生增产效应，也可能造成减产[3]。本研究混种处理 T1、T2 具有增产效应，产量居前 2 位，分别比 CK1（伟隆 169）增产 9.43%、9.35%；而其他 3 个混种处理出现减产现象。说明有的品种混合能够增产，有的品种混合却出现了减产。要实现增产，需要先对混合品种进行筛选。本试验发现，伟隆 169、陕道 198 这 2 个品种对半混种时，保持着各品种单播时的产量趋势。CK3（陕道 198 单播）产量居第 3 位，说明陕道 198 与其他品种可以增加产量，且 1/3 伟隆 169 与 2/3 陕道 198 混种效果更好，而混种产量与单播产量相比，差异无统计学意义，当然这还需经多年试验验证。

产量构成因素中，T1 的穗数居第 2 位，成为产量的主要贡献因素。说明混种主要通过提高穗数来优化产量构成因素，从而提高产量。虽然混种产量与单播产量相比，差异无统计学意义，但操作简便，不增加生产成本，微小的增产对种植大户而言，仍可提高一定的经济效益。在生产中，建议考虑气候条件、地力水平、操作便利性等因素，开展小面积试验后，结合实际选择适合当地的播种方式。对与关中西部气候、土壤相似区域，可考虑选择伟隆 169 和陕道 198 混种。

参考文献：

[1] 陈企村. 我国小麦品种混种产量浅析[J]. 种子科技,2020,38(21):23−24.

[2] 张　姣,段霞瑜,周益林,等. 小麦品种混合种植抗病增产研究简述[C]// 中国植物保护学会 2007 年学术年会论文汇编.北京:中国植物保护学会,2007：852−853.

[3] 王红丽,蒋　倩,曹世勤,等. 品种混种对小麦条锈病发生和小麦产量的影响[J]. 中国农业大学学报,2022,27(4):1−21.

[4] 刘运景,郑飞娜,张　秀,等. 宽幅播种对强筋小麦籽粒产量、品质和氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报,2022,48(3):716−725.

[5] 王　江,崔福柱,刘芮芮,等. 晚播对山西中部地区不同品种小麦生长及产量的影响[J]. 山西农业科学,2021,49(11):1286−1289.

[6] 吕宝顺,王明霞,高玉峰,等. 氮肥对小麦产量及品质的效应[J]. 陕西农业科学,2022,68(5):7−11.

[7] 周均湖,李素真,王秋云,等. 不同类型超级小麦地上部及籽粒干物质积累动态[J]. 山东农业科学,2006,38(4):13−15.

（下转第 59 页）

赵　云,胡相伟,吐拉甫·吐合逊,等. 播期对不同糜子品种农艺性状及产量的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):37-43(2025-01-24). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.007.

播期对不同糜子品种农艺性状及产量的影响

赵　云[1],胡相伟[1],吐拉甫·吐合逊[3],张　贵[3],刘　杰[2],穆亚萨尔·阿里木[2],吴　岳[2],再吐尼古丽·库尔班[1],王　卉[1],冯国郡[1*]
(1. 新疆农业科学院粮食作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2. 新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 新疆九丰禾种业有限责任公司,新疆 喀什 844000)

摘要:为确定内地主栽糜子品种引种到新疆西部干旱区的最佳种植时间,以期为北疆冷凉地区春播糜子高产优质提供理论依据和技术支撑。试验材料为内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号,设 5 个播期,依次为 B1(5 月 15 日)、B2(5 月 31 日)、B3(6 月 15 日)、B4(6 月 30 日)、B5(7 月 15 日),阐明不同播期下糜子品种的生育期、生长发育及产量的变化。结果表明:奇台当地播期 B5(7 月 15 日)糜子不能正常成熟,其余 4 个播期糜子均能安全成熟,且随着播期的推迟,各品种生育期逐渐缩短。株高、穗下节间长随播期延迟而降低。主穗长、单穗质量、千粒质量、产量呈单峰曲线变化,在 B2 处理达到峰值。从产量来看,内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号适宜早播,在 5 月中上旬播种,内糜 5 号产量最高可达 3 386.73 kg/hm^2。

关键词:播期;糜子;品种;农艺性状;产量
中图分类号:S516　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240110

糜子(*Panicum miliaceum* L.)属禾本科黍属,1 年生草本植物,又名黍、稷和糜,有粳性和糯性之分,其中粳性称为稷,糯性称为黍[1]。在西北的干旱地区,糜子是主要的粮食作物之一,具有生育期短、抗旱耐瘠的优点,在干旱环境中具生产优势,主要分布在甘肃、内蒙古、新疆、山西、黑龙江、吉林、宁夏等干旱、半干旱地区[2]。在新疆,糜子曾是西北地区的主粮之一,如今仅在山区和边远地带栽培,年种植面积约 1.2 万 hm^2、产量约 1.1 万 t。糜子营养丰富,富含蛋白质、淀粉、膳食纤维和多种微量元素[3]。糜子是新疆哈萨克族人喜食的传统食品,但新疆目前糜子加工利用主要以塔尔糜粉为主, 产品单一,经营管理粗放,规模效益低,缺少深加工产品,产业链短,社会知名度低。栽培品种以农家种为主,品种退化严重,产量不高,主要靠外调,需求量较大。

收稿日期:2024-11-04;修回日期:2025-01-13。
基金项目:国家谷子高粱产业技术体系乌鲁木齐综合试验站(CARS-06-B30);谷子提质增效关键技术研究与示范(2023SNGGGCC005);谷子高粱种质资源抗逆性鉴定及基因挖掘(xjnkywdzc-2024003-36);耐盐碱谷子高粱新品种选育与示范(xjnkywdzc-2024001-04)。
作者简介:赵　云(1992—),男,硕士,助理研究员,主要从事杂粮育种、栽培及推广工作。Email: 1041912942@qq.com。
* 通信作者:冯国郡(1970—),女,博士,研究员,主要从事杂粮育种、栽培及推广工作。Email: fengguojxj@126.com。

作物品种特性受播期、生态环境等的影响[4]。选择最适播期可使有限的水热资源得到最大限度的利用,获得更高的产量,如充分利用温度、光照、水分等自然条件,使糜子生长发育符合当地自然气候特征[5]。合理确定糜子播期,是确保高产稳产的重要措施,是糜子栽培管理的一项关键技术[6]。针对播期对糜子经济产量和生物产量的影响研究,在新疆鲜有报道[7]。适宜的播期可使糜子较好地利用光热、水肥等自然资源,获得较高的产量;而播期不适则会影响糜子的生长发育及产量效益[8]。糜子农艺性状(株高、茎秆直径、穗长、单穗质量等)及产量构成因素随播期的推迟呈递减趋势[9]。在不同的播期种植糜子,其产量具有显著的差异性,而保证作物丰产的有效方法是选择适宜的播期[10]。罗新兰等研究发现,适宜的播期对产量的提高不仅受所选品种还受地区差异的影响,因此,品种、气候和地力因素的差异决定了播种的时间[11-13]。徐恒永等研究发现,5 月 14—31 日为糜子最适宜的播种期[14-16]。然而,受新疆近几年春季播种季节气温低的影响,糜子播种期混乱,影响其生长发育及产量。本研究旨在探索不同播期对糜子生长发育特点和产量构成因素的影响, 确定糜子在新疆自然条件下的适宜播期,促进糜子正常生长发育,提高单产,为新疆糜子种植和产业发展提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试地点与品种

试验于 2023 年在新疆奇台县坎尔孜乡西三村（89°44′ E、43°59′ N）进行，该地属西北内陆半干旱地区，年降雨量 400 ~ 450 mm，无霜期 130 d 左右，年平均气温在 10.0 ~ 15.5 ℃，年日照时数 2 520 h。前茬玉米，土壤类型属黄壤土，有机质含量（质量分数，下同）为 25.36 g/kg，全氮含量为 1.83 g/kg，速效氮含量为 146.6 mg/kg，速效磷含量为 59 mg/kg，速效钾含量为 141 mg/kg，pH 值为 7.7。选用 4 个糜子品种：陕糜 1 号、固糜 21 号、内糜 5 号、托里 1 号。

1.2　试验设计

试验共设置了 5 月 15 日（B1）、5 月 31 日（B2）、6 月 15 日（B3）、6 月 30 日（B4）、7 月 15 日（B5）5 个播种时段，试验面积为 16 m^2（5.0 m × 3.2 m），小区 3 次重复，随机区组设计。各处理统一施 300 kg/hm^2 磷酸二铵为底肥，铺膜穴播，株距 0.1 m。全生育期灌水 3 次，4 ~ 5 叶期定苗并拔除杂草，苗密度为 75 万株 /hm^2，全生育期无病虫害防治。其余管理同当地大田管理。

1.3　测定项目及方法

参照《黍稷种质资源描述规范和数据标准》[17]记载各处理下糜子的生育时期，成熟期每小区随机取样 10 株，室内考种。各小区实收测产。

1.4　数据处理与分析

用 Excel 2020 进行数据采集及处理，用 SPSS 19.0 进行数据统计分析。$P < 0.05$ 为差异具统计学意义，$P < 0.01$ 为差异具高度统计学意义。

2　结果与分析

2.1　播期处理对糜子品种生育期的影响

由表 1 可知，各品种生育期受播期影响明显，关键生育阶段与全生育期随着播期的推迟逐渐缩短。各品种在 B5 播期，虽仅用 3 d 全部出苗，但均未成熟，剩余 4 个处理则正常成熟。正常成熟的 4 个处理，出苗到抽穗期为 33 ~ 58 d，抽穗到成熟期为 31 ~ 43 d，说明晚播主要是缩短了糜子的营养生长阶段（出苗到抽穗期），而生殖生长阶段（抽穗到成熟期）相对较稳定。同一品种的各个生育阶段及整个生育时期，在正常成熟的条件下，都随播期的推迟而缩短；各品种出苗时期没有差异。在 B1 播期各品种生育期最长，变化范围为 82 ~ 106 d；B4 播期各品种生育期最短，变化范围为 69 ~ 84 d。在同一播期下，4 个品种生育期从长到短依次为陕糜 1 号 > 固糜 21 号 > 内糜 5 号 > 托里 1 号。

表 1　各糜子品种不同播期处理主要生育阶段及生育期

品种	播期	出苗期（月 - 日）	抽穗期（月 - 日）	成熟期（月 - 日）	播种—出苗 /d	出苗—抽穗 /d	抽穗—成熟 /d	全生育期 /d
内糜 5 号	B1	05–22	07–12	08–25	7	51	43	95
	B2	06–06	07–21	08–29	6	45	43	84
	B3	06–20	07–30	09–06	5	40	40	78
	B4	07–04	08–10	09–15	4	37	40	73
	B5	07–18	08–21	—	3	34	—	—
固糜 21 号	B1	05–22	07–12	08–29	7	51	42	99
	B2	06–06	07–20	09–04	6	44	42	90
	B3	06–20	07–29	09–10	5	39	39	82
	B4	07–04	08–09	09–18	4	36	37	76
	B5	07–18	08–20	—	3	33	—	—
陕糜 1 号	B1	05–22	07–19	09–05	7	58	43	106
	B2	06–06	07–28	09–10	6	52	42	96
	B3	06–20	08–08	09–18	5	49	39	90
	B4	07–04	08–19	09–26	4	46	39	84
	B5	07–18	08–29	—	3	42	—	—

（续表）

品种	播期	出苗期（月－日）	抽穗期（月－日）	成熟期（月－日）	播种—出苗 /d	出苗—抽穗 /d	抽穗—成熟 /d	全生育期 /d
托里 1 号	B1	05–22	07–03	08–12	7	42	35	82
	B2	06–06	07–13	08–20	1	37	35	75
	B3	06–20	07–25	08–30	5	35	31	71
	B4	07–04	08–05	09–11	4	32	31	69
	B5	07–18	08–18	—	3	31	—	—

注：表中“—”表示没有成熟，无数据记载。表 2 同。

2.2 播期对糜子品种形态指标的影响

由表 2 可知，品种间株高差异明显，其中陕糜 1 号的株高最高，5 个播期平均株高为 153.70 cm；固糜 21 号次之，5 个播期平均株高为 147.98 cm。内糜 5 号、陕糜 1 号、固糜 21 号不同播期间株高差异具统计学意义，且随着播期的延迟逐渐降低，在 B1 播期最高。品种间单株分蘖数、单株有效分蘖数差异明显，其中托里 1 号的单株分蘖数、单株有效分蘖数最多，5 个播期平均单株分蘖数为 4.82 个，单株有效分蘖数为 4.00 个；内糜 5 号次之，5 个播期平均单株分蘖数为 4.26 个，单株有效分蘖数为 3.94 个，温度适宜，分蘖数增多。不同播期单株分蘖数、单株有效分蘖数差异明显，呈单峰曲线变化，在 B2 播期最高，且 B2、B3 处理与其余处理差异具统计学意义，说明播期不同，各品种单株分蘖及有效分蘖数不同，且受温度影响较大。

品种间穗下节间长差异明显，其中内糜 5 号的穗下第 1 节、第 2 节、第 3 节最长，5 个播期节长分别为 17.06、14.20、10.44 cm；固糜 21 号次之，5 个播期节长分别为 15.77、13.18、10.41 cm。除托里 1 号外，其余品种不同播期穗下第 1 节节间长差异具统计学意义，且随着播期推迟节间长逐渐降低，在 B1 播期最长。

2.3 播期对不同糜子品种主穗长、单穗质量、单穗粒数及千粒质量的影响

随着播期推迟，4 个糜子品种主穗长、单穗质量、单穗粒数及千粒质量均呈单峰曲线变化（图 1）。各品种主穗长由长到短依次是内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号，最大值均在 B2，依次为 45.17、44.27、43.34、25.16 cm；方差分析表明内糜 5 号、固糜 21 号和陕糜 1 号主穗长在 B1、B2 处理与 B3、B4 差异具统计学意义。各品种单穗质量由大到小依次是内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号，最大值均在 B2，依次为 17.42、16.05、15.05、9.23 g；方差分析表明内糜 5 号、固糜 21 号和陕糜 1 号的单穗质量在 B1、B2 处理与 B3、B4 差异具统计学意义。各品种单穗粒数由多到少依次是内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号，最大值在 B2，依次为 724.83、681.32、650.17、415.63 个；方差分析表明内糜 5 号、固糜 21 号和陕糜 1 号单穗粒数在 B1、B2 处理与 B3、B4 差异具统计学意义。各品种千粒质量由大到小依次是内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号，最大值在 B2，依次为 8.61、8.27、7.83、6.11 g；方差分析表明，这 4 个品种的千粒质量在 B1、B2、B3、B4 处理间差异无统计学意义。

2.4 播期处理对各糜子品种产量的影响

从图 2 中可以看出，4 个糜子品种的产量随着播期的延迟呈单峰曲线变化，在 B2 播期产量达到峰值，不同播期各品种产量差异较大。各品种在播期 B1、B2 的产量显著高于 B3、B4，产量比较：B1 播期下内糜 5 号（3 269.53 kg/hm²）≥固糜 21 号（2 940.47 kg/hm²）≥陕糜 1 号（2 764.03 kg/hm²）＞托里 1 号（1 567.26 kg/hm²）；B2 播期下内糜 5 号（3 386.73 kg/hm²）≥固糜 21 号（3 036.39 kg/hm²）≥陕糜 1 号（2 883.84 kg/hm²）＞托里 1 号（1 632.56 kg/hm²）；B3 播期下内糜 5 号（2 889.83 kg/hm²）≥固糜21 号（2 430.06 kg/hm²）≥陕糜 1 号（2 237.59 kg/hm²）≥托里 1 号（1 467.32 kg/hm²）；B4 播期下内糜 5 号（2 396.49 kg/hm²）≥固糜 21 号（2 037.55 kg/hm²）≥陕糜 1 号（1 883.52 kg/hm²）＞托里 1 号（1 403.45 kg/hm²）。

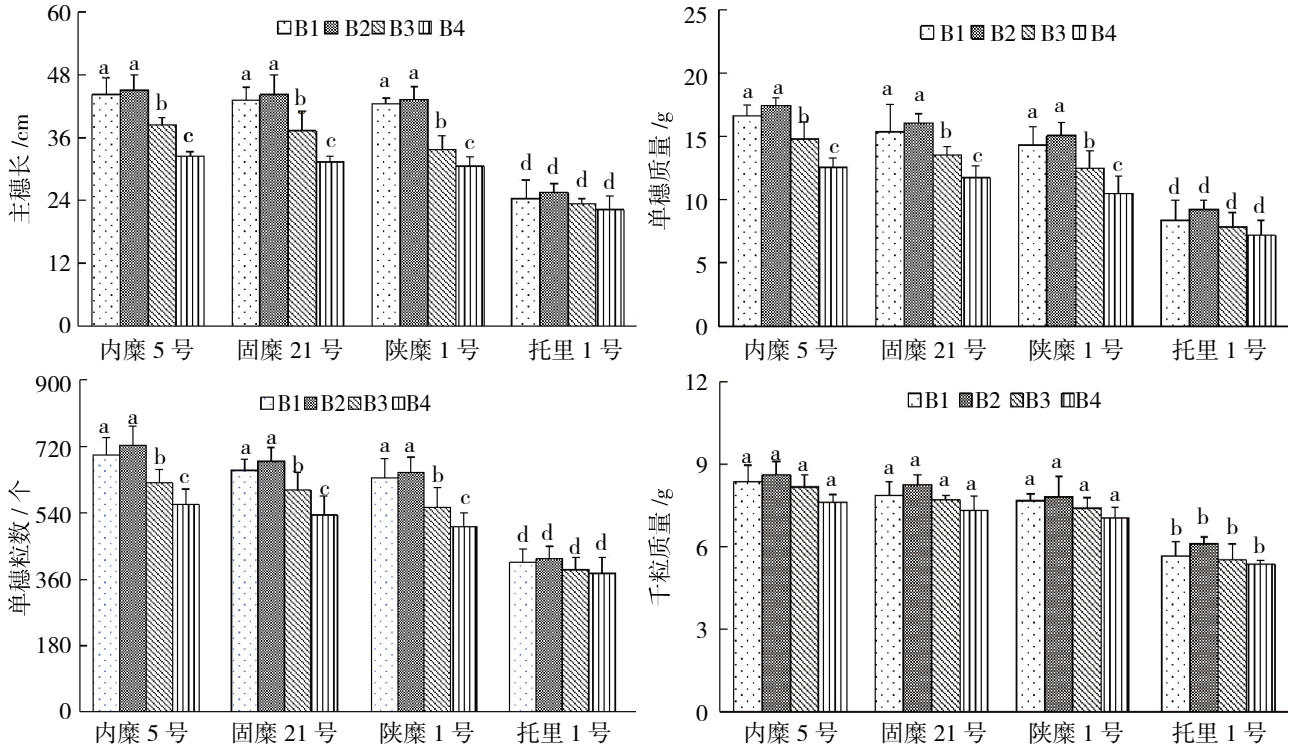
表 2　播期对不同糜子品种形态特征的影响

品种	播期	株高 / cm	主茎节数 / 个	单株分蘖数 / 个	单株有效分蘖数 / 个	穗下节间长 /cm		
						第 1 节	第 2 节	第 3 节
内糜 5 号	B1	165.78 ± 8.71 aA	9.62 ± 0.63 aA	4.10 ± 0.75 bA	3.70 ± 0.97 bB	26.48 ± 6.48 aA	18.84 ± 3.18 aA	14.63 ± 1.67 aA
	B2	152.34 ± 10.64 bAB	9.57 ± 0.77 aA	4.60 ± 0.82 aA	4.30 ± 1.06 aA	22.62 ± 6.17 bB	18.17 ± 3.52 aA	13.57 ± 2.84 aA
	B3	143.61 ± 9.18 cB	9.43 ± 0.58 aA	4.50 ± 0.67 aA	4.20 ± 0.73 aA	19.58 ± 4.85 cBC	17.25 ± 2.74 aA	12.61 ± 1.41 aA
	B4	130.38 ± 9.92 dBC	9.57 ± 0.47 aA	4.10 ± 0.91 bA	3.80 ± 0.86 bAB	16.63 ± 8.59 dC	16.74 ± 1.97 aA	11.39 ± 2.06 aA
	B5	115.67 ± 7.53 eC	9.44 ± 0.64 aA	4.00 ± 0.83 bA	3.70 ± 0.74 bB	—	—	—
固糜 21 号	B1	175.50 ± 10.80 aA	9.26 ± 0.84 aA	3.80 ± 1.04 bB	3.80 ± 0.85 bA	25.86 ± 7.48 aA	17.47 ± 4.67 aA	13.87 ± 2.73 aA
	B2	163.42 ± 11.42 bAB	9.14 ± 0.67 aA	4.50 ± 0.77 aA	4.20 ± 1.08 aA	21.13 ± 7.23 bAB	16.66 ± 3.28 aA	14.34 ± 1.81 aA
	B3	150.18 ± 9.52 cB	9.16 ± 0.73 aA	4.40 ± 0.92 aA	4.10 ± 0.75 aA	17.38 ± 5.39 cC	16.05 ± 2.19 aA	12.49 ± 1.14 aA
	B4	131.86 ± 8.87 dC	9.07 ± 0.74 aA	3.90 ± 0.68 bB	3.90 ± 0.68 bA	14.49 ± 8.38 dC	15.72 ± 3.63 aA	11.35 ± 2.52 aA
	B5	118.92 ± 6.91 eD	9.28 ± 0.68 aA	3.70 ± 0.75 bB	3.80 ± 0.79 bA	—	—	—
陕糜 1 号	B1	182.88 ± 9.88 aA	10.57 ± 0.86 aA	4.10 ± 0.97 bB	3.10 ± 0.68 bAB	23.54 ± 7.32 aA	16.85 ± 2.71 aA	13.14 ± 2.63 aA
	B2	171.37 ± 10.42 bAB	10.53 ± 0.57 aA	4.70 ± 1.06 aA	3.40 ± 0.58 aA	20.19 ± 6.84 bAB	16.31 ± 4.69 aA	12.73 ± 1.84 aA
	B3	153.92 ± 8.34 cC	10.63 ± 0.74 aA	4.60 ± 0.94 aA	3.30 ± 0.79 aA	18.38 ± 5.49 cB	15.73 ± 3.52 aA	12.58 ± 2.36 aA
	B4	140.45 ± 8.15 dCD	10.48 ± 0.64 aA	4.30 ± 0.74 bB	2.90 ± 0.58 bAB	16.16 ± 9.45 dB	15.11 ± 3.37 aA	11.76 ± 2.72 aA
	B5	119.86 ± 7.64 eD	10.74 ± 0.58 aA	4.20 ± 0.68 bB	2.80 ± 0.87 bB	—	—	—
托里 1 号	B1	118.81 ± 8.81 aA	5.69 ± 0.86 aA	4.70 ± 0.63 bB	3.80 ± 0.94 bB	16.67 ± 5.87 aA	11.67 ± 2.17 aA	7.68 ± 1.07 aA
	B2	114.57 ± 7.43 aA	5.53 ± 0.71 aA	5.20 ± 0.74 aA	4.50 ± 0.85 aA	16.26 ± 5.26 aA	11.25 ± 1.84 aA	7.25 ± 1.36 aA
	B3	111.72 ± 7.03 aA	5.72 ± 0.68 aA	5.10 ± 0.48 aA	4.40 ± 0.79 aA	14.06 ± 4.74 aA	10.86 ± 1.63 aA	7.14 ± 1.84 aA
	B4	108.58 ± 8.54 aA	5.36 ± 0.86 aA	4.60 ± 0.50 bB	3.70 ± 0.48 bB	13.16 ± 6.29 aA	9.61 ± 2.52 aA	6.86 ± 0.84 aA
	B5	105.61 ± 6.21 aA	5.87 ± 0.74 aA	4.50 ± 0.49 bB	3.60 ± 0.69 bB	—	—	—

注：同品种同列数据后不同大、小写字母分别表示差异具高度统计学意义（$P<0.01$）、统计学意义（$P<0.05$）。下同。

2.5　不同糜子品种在不同播期的农艺性状与产量的相关性

通过 Pearson 相关性分析，不同糜子品种在不同播期的农艺性状和产量的相关性(表 3)表明：糜子的产量与主穗长、单穗质量、千粒质量呈极显著正相关，与生育期呈显著正相关；单穗质量与生育期、主穗长呈极显著正相关，与千粒质量呈显著正相关，说明糜子品种的产量与生育期、株高、主穗长、单穗质量、千粒质量等指标均呈直接或间接的极显著或显著正相关。



不同小写字母表示差异具有统计学意义(P< 0.05)，B5 时期 4 个品种均未成熟，故均未考种。下同

图 1　不同播期 4 个糜子品种的主穗长、单穗质量、单穗粒数及千粒质量变化

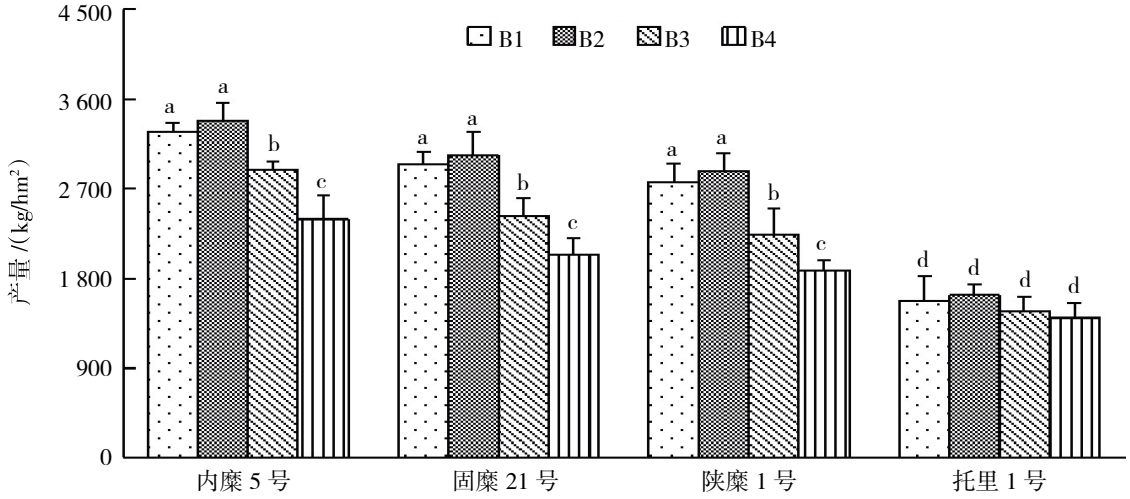


图 2　不同播期 4 个糜子品种的产量变化

表 3　不同品种、播期的农艺性状与产量的相关性

性状	生育期	株高	主穗长	主茎粗	单穗质量	千粒质量	产量
生育期	1						
株高	0.901**	1					
主穗长	0.104	0.572	1				
主茎粗	0.912**	−0.991**	0.624	1			
单穗质量	0.690**	0.543	0.608**	0.704	1		
千粒质量	0.092	0.147	0.534**	−0.186	0.758*	1	
产量	0.432*	0.705	0.226**	0.746	0.671**	0.881**	1

注：*、** 分别表示显著相关（$P < 0.05$）、极显著相关（$P < 0.01$）。

3　讨论

品种的遗传特性及气候环境条件影响糜子的生长发育，不同播期不同糜子品种的生长发育表现差异明显[17]。金晓光等研究认为，糜子生育期较长且从播种到抽穗所用时间较长[18-19]。任瑞玉等研究认为，随着播期的推迟，各糜子品种的整个生育期不断缩短[20]。本研究显示，生育期随着播期的推迟而逐渐缩短，4 个品种的生育期均较短，且播种至抽穗所需时间较短。与前人研究结论的差异可能是由生态区改变、气候变化及品种遗传特性的不同所导致。李瑞等研究表明，随着播种推迟，主茎高、茎粗等农艺性状呈递减趋势，长势变弱[21]。本研究得出，品种间株高差异明显，除托里 1 号外，不同播期间株高差异具统计学意义，株高随着播期的延迟逐渐降低，B1 播期最高，这与前人研究[22]基本一致。张东旗等通过对不同品种的分蘖情况进行研究，得出：随着播期的推迟，单株有效分蘖数呈逐渐减少趋势[23-24]。本研究发现品种间单株分蘖数、单株有效分蘖数差异明显，不同播期单株分蘖数、单株有效分蘖数差异明显，呈单峰曲线变化，在 B2 播期最高，且 B2、B3 处理与其余处理差异具统计学意义，说明播期不同，各品种单株分蘖及有效分蘖数不同。同时本研究得出，播期对糜子生长发育影响较大，播种过早（4 月 20 日—5 月 10 日），植株生育期缩短，导致产量降低；播种过晚（7 月 10—30 日），有效穗数减少，产量降低。品种间单穗长、单穗质量、千粒质量、产量差异明显，不同播期品种的单穗长、单穗质量、千粒质量随着播期的延迟呈单峰曲线变化，在 B2 播期产量及产量构成因子均达到峰值。

4　结论

根据播期和品种试验结果，糜子播种要根据当地的气候特征，结合品种的遗传特性，选择最适宜播种期。在新疆冷凉地区糜子最适播期为 5 月中旬到 6 月初。7 月中旬播种，各糜子品种虽能正常抽穗，但结实较差，无法保证正常成熟。综合考虑，内糜 5 号、固糜 21 号、陕糜 1 号、托里 1 号均适合早播，最适播期为 5 月中上旬。

参考文献：

[1] WANG R Y,WANG H G,LIU X Y,et al. Drought-induced transcription of resistant and sensitive common millet varieties[J]. The Journal of Animal and Plant Sciences,2017,27(4):1303-1314.

[2] 刁现民,程汝宏. 十五年区试数据分析展示谷子糜子育种现状[J]. 中国农业科学,2017,50(23):4469-4474.

[3]李冬梅,王洪露,龚　瑶,等. 糜子直链淀粉、蛋白质含量对其外观品质及食味品质的影响[J]. 食品科学,2023,44(4):115-121

[4] 王星玉,温琪汾,王　纶,等. 中国黍稷种质资源的繁种入库[J]. 山西农业科学,2003,31(2):27-29.

[5] 曲祥春,杨　微,梁　军,等. 中国粒用高粱产业问题探讨[J]. 东北农业科学,2020,45(2):16-19,35.

[6] 王显瑞,赵　敏,张　野,等. 糜子产量及其构成因素的相关性研究[J]. 河北农业科学,2012,16(4):6-8,20.

[7] 王德慧,盛晋华,张雄杰,等. 播期对糜子生长发育及产量影响的研究[J]. 中国种业,2013(4):61-64.

[8] 景小兰,李志华,董　旭. 不同播期对糜子不同品种生长发育及产量的影响[J]. 作物杂志,2019(1):146-151.

[9] 杨清华. 粳糯糜子品种品质评价与蒸煮食味品质特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020:3–6.
[10] 傅永斌,霍阿红,杨德智,等. 播期和密度对张选 1 号黍子生育及产量的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(3):81–85.
[11] 罗新兰,崔佳龙,蔡　福,等. 播期对玉米生长发育和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(5):14–20.
[12] 罗世武,张尚沛,杨军学,等. 不同播期对干旱地区糜子生长发育及产量的影响[J]. 陕西农业科学,2015,61(3):1–3.
[13] 李兰真,汤景华,汤海海,等. 不同类型小麦品种播期播量研究[J]. 河南农业科学,2007,36(11):38–41.
[14] 徐恒永,赵振东,刘建军,等. 群体调控对济南 17 号小麦产量性状的影响[J]. 山东农业科学,2001,33(1):7–9.
[15] 贺　晓,梁鸡保,高小丽. 不同播期密度对神木县糜子产量的影响[J]. 陕西农业科学,2016,62(4):12–14.
[16] 王宇先,李清泉,刘玉涛,等. 不同播期对糜子生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2013(9):22–24.
[17] 王星玉,王　纶. 黍稷种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:38–39.
[18] 金晓光,文　峰,白乙拉图,等. 内蒙古通辽地区糜子不同播种量对主要农艺性状和产量的影响[J]. 农业与技术,2023,43(5):10–12.
[19] 罗　艳,屈　洋,杨清华,等. 播期对糜子农艺性状及淀粉理化性质的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(22):4154–4165.
[20] 任瑞玉,何继红,董孔军,等. 四个糜子主栽品种在甘肃会宁的适宜播期分析[J]. 作物杂志,2019(1):152–158.
[21] 李　瑞,龚清世,张元香,等. 播期品种互作对糜子(糯)品质的影响[J]. 农业开发与装备,2018(9):141–142.
[22] 王瑞云,刘晓欢,申鸽子,等. 5 个糜子品种的形态指标差异分析[J]. 山西农业科学,2013,41(11):1167–1170.
[23] 张东旗,高小丽,赵　涛,等. 不同播期糜子抽穗后干物质积累及转运特性[J]. 西北农业学报,2016,25(6):849–856.
[24] 张盼盼,李建依,李　冰,等. 播期对引进糜子品种产量性状的影响[J]. 黑龙江农业科学,2017(6):17–20.

Effects of Sowing Dates on Agronomic Traits and Yield of Different *Panicum miliaceum* Varieties

ZHAO Yun[1], HU Xiangwei[1], Tulafu Tuhexun[3], ZHANG Gui[3], LIU Jie[2], Muyasaer Alimu[2], WU Yue[2], Zatuniguli Kuerban[1], WANG Hui[1], FENG Guojun[1]

(1. Institute of Food Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830002, China; 2. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830002, China; 3. Xinjiang Jiufenghe Seed Industry Co., Ltd., Kashgar 844000, China)

Abstract: In order to determine the best planting time of the mainland owner's planting *Panicum miliaceum* varieties to the dry area of the western in the west of Xinjiang, and provide theoretical basis and technical support for the high quality and high yield *Panicum miliaceum* in the cold area of the northern Xinjiang, the test materials were Neimi No.5, Gumi No.21, Shaanmi No.1 and Tori No.1, and No.5 sowing dates were set up including B1 (May 15) , B2 (May 31), B3 (June 15), B4 (June 30), B5 (July 15). The the growth period, growth development and yield changes of *Panicum miliaceum* varieties under different sowing dates were clarified. The results showed that *Panicum miliaceum* could not mature normally at the local sowing date B5 (July 15) in Qitai, and the other four sowing dates could mature safely, and the growth period of each variety was gradually shortened with the delay of sowing date. Plant height and internode length decreased with the delay of sowing date. Panicle length, panicle weight, 1 000-grain weight and yield showed unimodal curve changes, and reached the peak value in B2 treatment. In terms of yield, Neimi No.5, Gumi No.21, Shannmi No.1 and Tori No.1 were suitable for early sowing. The highest yield of Neimi No.5 could reach 3 386.73 kg/hm^2 at sowing date of mid-early May.

Key Words: Sowing date; *Panicum miliaceum*; Variety; Agronomic trait; Yield

丁　颖,晏　军,刘兴华,等. 不同氮肥运筹模式对沿海农区南粳 9108 氮肥吸收利用的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):44-50(2025-01-24). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.008.

不同氮肥运筹模式对沿海农区南粳 9108 氮肥吸收利用的影响

丁　颖[1],晏　军[2*],刘兴华[1],刘艳艳[1],贺　江[1],宛柏杰[1]
(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏 盐城 224002;2. 盐城市新洋农业试验站,江苏 盐城 224332)

摘要:为在江苏沿海农区盐土上推广种植优良食味水稻,以迟熟中粳稻南粳 9108 为试验材料,通过设置 3 种氮肥运筹模式——习惯施肥(FFP)、缓释肥料(CRU)和实地氮肥管理(SSNM),研究不同氮肥运筹模式对水稻生长、产量及氮肥吸收利用的影响。结果表明,实地氮肥(SSNM)处理能够有效减少水稻南粳 9108 生长前期的无效分蘖,获得较高成穗率(77.19%),并以较低的氮肥投入(220 kg/hm^2)获得较高的产量(8 730 kg/hm^2),其氮肥吸收利用率为 32.3%;习惯施肥(FFP)下南粳 9108 产量为 8 571 kg/hm^2,其氮肥吸收利用率为 30.3%;缓释肥料(CRU)处理下,南粳 9108 产量为 7 985 kg/hm^2,其氮肥吸收利用率仅为 22.3%。因此,在试验盐土上推广种植南粳 9108,可优先采用实地氮肥模式(SSNM),习惯施肥模式(FFP)也具有一定现实可行性。

关键词:水稻;氮肥运筹;氮肥利用率;产量
中图分类号:S511　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240104

施肥是农作物增产的重要措施,在现代农业生产中具有不可替代的作用。一方面,随着我国人民生活水平和质量的逐步提升,对粮食安全和品质的要求也在不断提高。另一方面,我国积极稳妥推进“碳达峰、碳中和”战略,对农业生产提出了新的要求和发展方向。水稻是江苏省第一大粮食作物,常年种植面积在 220 万 hm^2 左右,其中苏北地区占江苏省水稻种植面积的 57.29%[1]。目前,具有优良食味品质的迟熟中粳水稻品种在生产上得到大力推广,并逐渐向江苏沿海地带扩展。迟熟中粳水稻基本特点是生育期长、需肥量大、灌水频繁、用肥次数多且肥料利用率低等[2-3]。氮素在水稻生长发育过程中起着至关重要的作用, 因我国农田土壤氮素总体缺乏,故均要通过外施氮肥以供作物生长所需[4]。我国稻田面积占世界水稻种植面积的 20%,但水稻氮肥总用量却占全球水稻氮肥总用量的 37%,“氮肥施用越多,产量越高”的传统施肥观念、氮肥价格的相对偏低等因素导致了氮肥的过量施用[5],同时又因缺乏环境保护和平衡施肥的意识,农民往往为了片面追求产量和经济效益而重施氮肥,从而带来了极大的负面影响。错误的施肥方式不仅造成了肥料的浪费和生产成本的增加,同时对环境带来深远且长久的危害,如温室气体(N_2O 和 CH_4)排放、水体富营养化和地下水污染等问题[6],从而影响到“双碳”战略目标的实现。

对于如何提高氮肥利用率,已有不少研究。凌启鸿等研究表明,水稻传统施肥方式中基蘖肥施用量过大,是造成低产低效的重要原因[7];丁艳锋等研究表明,水稻对不同生育期施用的氮肥表现出较大的吸收利用率差异,指出穗肥的氮肥利用率比基蘖肥显著提高[8];还有学者则在研究新型肥料或氮肥前期和后期的不同施肥比例对水稻氮肥利用率的影响[9-10]。也有研究提出不同的施肥模式,如国际水稻研究所(IRRI)最早曾提出水稻实地氮素管理技术(SSNM),该模式包括实时氮素管理方法(real-time N management,RTNM)和固定分期调控氮素管理方法(fixed-time adjustable-dose N management,FTNM)[11],许多学者围绕该模式以评估它提高水稻氮肥利用率的效果,包括对两系或三系杂交水稻、超级杂交稻等的产量、品质、氮肥利用率的影响等[12],但是鲜见对该模式在盐土水稻种植上的研究。江苏沿海农区土壤耕层盐分含量(质量分数,下同)为 0.1%~0.3%,主要属于氯化物盐渍土类型的滨海轻—中盐土[13]。近年来,优良食味水稻品种纷纷被引入江苏沿海农区试种乃至于推广,为评估不同氮肥运筹模式对沿海农区优良食味水稻品种氮肥吸收利用的影响,本试

收稿日期:2024-10-16;修回日期:2025-01-18。
基金项目:盐城市重点研发计划(农业)(YCBN202412)。
作者简介:丁　颖(1995—),女,硕士,研究实习员,主要从事植物育种栽培与环境适应研究。Email: 949442747@qq.com。
* 通信作者:晏　军(1992—),男,硕士,助理研究员,主要从事农业生产水土环境调控研究。Email: 503318978@qq.com。

验初步设计了 3 种氮肥运筹模式——习惯施肥、缓释肥施用和实地氮肥管理，旨在为沿海农区优良食味水稻氮肥运筹管理提供理论和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2022 年在江苏省盐城市亭湖区盐东镇（120°54′E、34°28′N）进行，该地区属亚热带季风气候，年平均气温 14 ℃，年降水总量 1 000 mm 左右，无霜期 210 d。试验地常年进行稻麦轮作，土壤为沿海淤积平原砂壤，于江苏沿海农区具有一定代表性。以 5 点取样法测得 0～20 cm 土壤 pH 值为 8.1，有机质含量 15.21 g/kg，总氮含量 1.15 g/kg，速效磷含量 7.77 mg/kg，速效钾含量 213.74 mg/kg，盐分含量为 0.1%～0.3%。

1.2　试验材料

以苏北地区大面积种植的常规迟熟中粳、优良食味水稻——南粳 9108 为试验材料，于 2022 年 5 月 16 日进行露地湿润育秧，6 月 6 日人工移栽，每穴 1～2 株，株、行距分别为 15、20 cm，基本苗约 4 万株 /667 m^2。移栽后灌浅水使秧苗返青，分蘖肥在移栽后 1 周施用，穗肥在晒田复水后施用，其他田间管理与大田一致。10 月 25 日人工收获测产。

1.3　试验设计

本试验设置 4 种施肥措施：不施氮肥（CK）、农民习惯施肥（FFP）、缓释氮肥 70%+ 尿素 30%（CRU）和实地氮肥管理（SSNM），每处理 4 次重复，采用完全随机区组设计，每个小区 30 m^2，小区筑埂，埂上覆膜，以阻隔小区田间串水串肥，田间管理遵循当地农民习惯。供试缓释氮肥为聚氨酯包膜尿素，90 d 释放期，氮质量分数为 45.0%，由金正大生态工程集团股份有限公司提供；供试速效肥料：氮肥为尿素（氮质量分数 46.7%），磷肥为过磷酸钙（磷质量分数 12.0%），钾肥为氯化钾（钾质量分数 60.0%），均由湖北中化东方肥料有限公司提供。具体施肥方案如表 1 所示。

本试验中，实地氮肥管理（SSNM）处理在水稻主要生育期使用叶绿素测定仪（SPAD）观测叶片氮素情况并依此指导施肥，从而最大限度地提高氮肥利用效率[14]。实地氮肥管理（SSNM）预设氮肥施用量为 240 kg/hm^2，基肥、分蘖肥、穗肥的预设质量比例为 5∶3∶2，氮肥为普通尿素。计算施肥量时，在分蘖期和孕穗期，如果剑叶 SPAD 值≥38，按基数施氮量减 10 kg/hm^2 施肥；如果 36＜SPAD 值＜38，按基数施氮量施肥；如果 SPAD 值≤36，基数施氮量加10 kg/hm^2 施肥。在抽穗期，如果 SPAD 值≤38，施氮 10 kg/hm^2，否则不施氮。最终通过在各个水稻生育期测定 SPAD 值，得出氮肥实际总 N 施用量为 220 kg/hm^2，用量如下：基肥N 120 kg/hm^2（尿素 257 kg/hm^2），分蘖肥N 62 kg/hm^2（尿素 133 kg/hm^2），穗肥 N 38 kg/hm^2（尿素 82 kg/hm^2）。

表 1　氮肥运筹模式与方案

施肥处理	施肥量（N–P_2O_5–K_2O）	氮肥施用比例（基肥∶分蘖肥∶穗肥）	基肥 /（kg/hm^2）				分蘖肥 /（kg/hm^2）	穗肥 /（kg/hm^2）
			缓释肥	尿素	过磷酸钙	氯化钾		
CK	0–210–210	—	0	0	1 750	350	0	0
FFP	240–210–210	7∶2∶1	0	360	1 750	350	103	51
CRU	240–210–210	10∶0∶0	373	154	1 750	350	0	0
SSNM	240–210–210	5∶3∶2	0	257	1 750	350	154	103

注：SSNM 实际施肥为基肥 N 120 kg/hm^2（尿素 257 kg/hm^2），分蘖肥 N 62 kg/hm^2（尿素 133 kg/hm^2），穗肥 N 38 kg/hm^2（尿素 82 kg/hm^2）。

1.4　测定项目与分析方法[15-16]

1.4.1　分蘖动态。每小区定 6 株挂牌标记，于返青期、分蘖期、拔节孕穗期、灌浆期和收获期，分别调查每小区已挂牌 6 株水稻植株分蘖数，取平均值。

1.4.2　SPAD 值。采用 SPAD–502 叶绿素测定仪测定，于分蘖期测定每小区已挂牌 6 株水稻植株剑叶 SPAD 值，取平均值，每周测定 1 次。

1.4.3　氮素积累。在返青期、分蘖期、拔节孕穗期、灌浆期和收获期取水稻地上部剪断，将水稻叶、茎和穗的鲜样置于烘箱中在 105 ℃杀青 30 min，然后再在 70 ℃下烘干 48 h 至恒质量，干燥冷却至室温后称量植株各组织（叶、茎和穗）干物质量，磨碎过

筛后分别采用浓 H_2SO_4–H_2O_2 消煮，以凯氏定氮法测定全氮含量。

1.4.4　产量要素。水稻成熟后每个小区收获 10 株，统计 4 个处理的每穗实粒数和秕粒数，计算结实率，然后统计 4 个处理的千粒质量（g），4 个处理水稻脱粒后晒干除杂称种，作为每个处理的实际产量（g）。

1.5　数据分析

应用 SPSS 20.0 进行方差分析，PLSD（protected least significant difference）法进行处理间多重比较，$P<0.05$ 为具有统计学意义。利用 Excel 2016 作图。相关指标计算方法如下：

氮素积累总量（kg/hm²）：单位面积植株地上部分（叶、茎和穗）的氮素积累量；

氮肥吸收利用率（%）：施氮肥区与不施氮肥区植株氮素积累总量之差占施氮量的百分比；

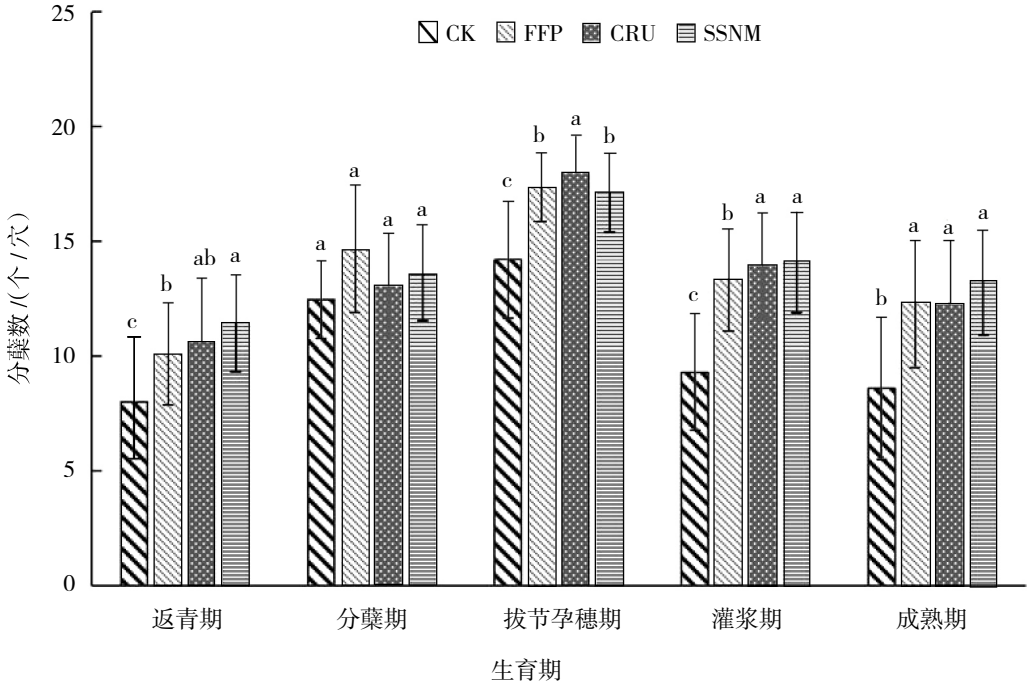
氮肥农学利用率（kg/kg）=（施氮区产量 – 不施氮区产量）/ 氮肥用量；

氮肥生理利用率（kg/kg）=（施氮区产量 – 不施氮区产量）/（施氮区植株总吸氮量 – 不施氮区植株总吸氮量）。

2　结果与分析

2.1　不同氮肥运筹下水稻南粳 9108 的分蘖情况

由图 1 可知，水稻的分蘖数在整个生育期总体呈先增后减的趋势。在返青期，SSNM 处理分蘖数最高，达 11.43 个 / 穴，显著高于 FFP 处理（10.08 个 / 穴）与对照（CK，80.2 个 / 穴），但与 CRU 处理（10.58 个 / 穴）相当；在分蘖期，基肥中施氮量最大的 FFP 处理的分蘖数较多，可见重施基肥有利于分蘖数的增加，但 4 个处理分蘖数差异无统计学意义；拔节孕穗期 CRU 处理的分蘖数（17.97 个 / 穴）显著高于其他 3 个处理，其中 SSNM 与 FFP 相当；在灌浆期，分蘖数总体减少，CRU 处理和 SSNM 处理的分蘖数均显著高于 FFP 处理与对照；成熟期分蘖数 SSNM 处理（13.2 个 / 穴）、FFP 处理（12.28 个 / 穴）、CRU 处理（12.22 个 / 穴）3 者差异无统计学意义，表明 CRU 处理的无效分蘖较多，FFP 处理次之，SSNM 处理无效分蘖最少，最终 CK、FFP、CRU、SSNM 处理的茎蘖成穗率分别为 60.56%、70.70%、68.03%、77.19%。



同生育期柱上不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义（$P<0.05$）

图 1　不同氮肥运筹下的水稻南粳 9108 分蘖情况

2.2　不同氮肥运筹对水稻南粳 9108 产量及产量构成因素的影响

由表 2 可见，3 种氮肥运筹下 SSNM 的有效穗数最多，CRU 的有效穗数最少，且 SSNM 处理显著高于 FFP 和 CRU 处理。在穗粒数上，FFP 处理下最多，达到了 153.7 粒 / 穗，SSNM 处理较少，显著低于 FFP，但与 CRU 处理差异无统计学意义。结实率上，FFP 和 SSNM 处理的结实率差异无统计学意义，但

都显著低于 CK(84.5%)、高于 CRU(仅为 69.6%)。FFP、CRU 和 SSNM 处理的千粒质量均高于 26 g,且相互之间差异无统计学意义。实际产量上,SSNM 处理最高,达到 8 730 kg/hm²,与 FFP 处理实际产量(8 571 kg/hm²)相当(差异无统计学意义);其次是 CRU 处理,产量为 7 985 kg/hm²,与其他处理间差异均有统计学意义;最低的 CK 处理产量仅为 6 406 kg/hm²。结果表明,FFP 处理基于当地农民经验,有其存在的合理性,CRU 处理则可能因后续肥分供应不足而致产量大幅降低,SSNM 处理所得产量最高,很大程度上取决于有效穗数的大幅增加(无效分蘖较少),而 CRU 处理所得产量较低,可能不仅在于其有效穗数不足,其结实率也相对较低的缘故。

2.3　不同氮肥运筹对水稻南粳 9108 氮素积累吸收及利用率的影响

如表 3 所示,随着生育进程,稻株氮积累量呈逐渐增加趋势,不同施肥方式下氮积累总量有差异。从氮积累的增量来看,返青期至分蘖期时氮积累增量为 CRU (69.4 kg/hm²) > FFP (60.1 kg/hm²) > SSNM(37.2 kg/hm²) > CK(33.4 kg/hm²),分蘖期至拔节孕穗期氮积累增量为 SSNM (29.5 kg/hm²) > CK (17.6 kg/hm²) > FFP(12.3 kg/hm²) > CRU(9.6 kg/hm²),拔节孕穗期至灌浆期氮积累的增量均为 SSNM (73.3 kg/hm²) > FFP(71.0 kg/hm²) > CRU(41.2 kg/hm²) > CK (26.7 kg/hm²),灌浆期至成熟期氮积累增量为 CRU (15.6 kg/hm²) > FFP (12.2 kg/hm²) > SSNM (11.7 kg/hm²) > CK(4.9 kg/hm²)。FFP 处理和 CRU 处理在返青期到分蘖期之间使水稻氮素积累量分别增加了约 60、70 kg/hm²,明显高于 CK 处理和 SSNM 处理,说明农民习惯施肥和缓释肥能够在水稻生长的前期极大地促进氮吸收。而到了分蘖期至灌浆期,SSNM 处理开始表现出水稻氮素积累量大幅增加的现象,特别是从拔节孕穗期到灌浆期,增加了 73.3 kg/hm²。至成熟期时,氮素积累量增量大幅下降,但以 CRU 处理(15.6 kg/hm²)为最多,FFP(12.2 kg/hm²)与 SSNM(11.7 kg/hm²)相当,CK 增量仅为 4.9 kg/hm²。全生育期,相较于 CK,FFP、CRU、SSNM 分别增加了 72.8、53.5、71.0 kg/hm² 的氮素积累量,但不同处理间南粳 9108 氮素积累量在不同发育时期表现出了复杂的动态变化,大致经历了 2 个吸氮高峰,即返青期—分蘖期、拔节孕穗期—灌浆期;在前期,CRU 与 FFP 处理由于基肥充足,很好地满足了南粳 9108 吸肥的需要,并且因为 CRU 的缓释性能,以及 FFP 后期的穗肥施用,也能保证水稻后期生长对氮素的吸收;而 SSNM 可能由于其适时适地处理,除在拔节孕穗期至灌浆期吸收变化幅度较高外,其他时期均表现相对平缓。

表 2　不同氮肥运筹模式下的水稻南粳 9108 产量要素与实际产量

施氮处理	有效穗数 /(万个 /hm²)	穗粒数 /(粒 / 穗)	结实率 /%	千粒质量 /g	实际产量 /(kg/hm²)
CK	203.1 ± 39.5 d	132.0 ± 25.4 c	84.5 ± 3.7 a	23.9 ± 0.3 b	6 406 ± 804 c
FFP	278.7 ± 40.8 b	153.7 ± 30.3 a	80.7 ± 4.3 b	26.7 ± 0.2 a	8 571 ± 542 a
CRU	267.2 ± 50.5 c	151.6 ± 22.3 ab	69.6 ± 5.5 c	27.6 ± 0.4 a	7 985 ± 559 b
SSNM	306.9 ± 38.4 a	141.8 ± 22.3 b	79.7 ± 6.0 b	26.8 ± 0.6 a	8 730 ± 418 a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义($P<0.05$)。下同。

表 3　不同氮肥运筹模式下各生育期的水稻南粳 9108 氮素积累量

处理	氮素积累量 /(kg/hm²)				
	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	灌浆期	成熟期
CK	1.1 bc	34.5 c	52.1 d	78.8 c	83.7 c
FFP	0.9 c	61.0 b	73.3 b	144.3 a	156.5 a
CRU	1.4 a	70.8 a	80.4 a	121.6 b	137.2 b
SSNM	1.2 b	38.4 c	69.7 c	143.0 a	154.7 a

如表 4 所示,从最终施氮量上看,SSNM 处理的施氮量(220 kg/hm²)少于 FFP、CRU 处理的施氮量(240 kg/hm²)。虽然 FFP 和 CRU 处理的施氮量相同,但是成熟期时 CRU 处理的氮素积累总量(137.2 kg/hm²)却显著低于 FFP 处理(156.5 kg/hm²)和SSNM 处理(154.7 kg/hm²)。从氮肥吸收利用率上

看，SSNM 处理最高（32.3%），FFP 处理（30.3%）次之，CRU 处理（22.3%）最低，且 3 种处理之间差异具统计学意义。SSNM 处理的氮肥农学利用率也处于 3 种处理的最高水平，且显著高于 CRU 和 FFP 处理，而 FFP 处理又显著高于 CRU 处理。从氮肥生理利用率上看，SSNM 处理处于最高水平，CRU 处理和 FFP 处理较低，且 SSNM 处理与 CRU、FFP 处理之间差异有统计学意义。

总的来说，在这 3 种氮肥运筹模式下，SSNM 处理的水稻最终在最少的施氮量（220 kg/hm²）下具有最高的氮肥吸收利用率（32.3%）和氮肥农学利用率（10.56 kg/kg），并且氮素积累量（154.7 kg/hm²）也处于最高的水平，说明 SSNM 的氮肥运筹方式是这 3 种施氮处理中最经济的。CRU 处理的氮肥运筹方式下，氮肥吸收利用率（22.3%）、氮肥农学利用率（6.58 kg/kg）均最低，说明该种运筹方式氮肥损失较大，不利于各个时期的氮素供需平衡。

表 4　不同氮肥运筹下的南粳 9108 氮肥利用率

处理	施氮量 /（kg/hm²）	氮素积累总量 /（kg/hm²）	氮肥吸收利用率 /%	氮肥农学利用率 /（kg/kg）	氮肥生理利用率 /（kg/kg）
CK	0	83.7 c	—	—	—
FFP	240	156.5 a	30.3 b	9.02 b	29.74 b
CRU	240	137.2 b	22.3 c	6.58 c	29.51 b
SSNM	220	154.7 a	32.3 a	10.56 a	32.73 a

3　讨论

3.1　氮肥运筹对盐土水稻生长与产量的影响

传统的氮肥施用方式一般都是重施基肥、分蘖肥，而穗肥施氮量较少。基肥的施用虽有助于水稻秧苗移栽后的缓苗和后期分蘖的形成，但这种施肥方式往往导致水稻前期无效分蘖产生较多，后期籽粒灌浆时易缺乏氮素[17-18]。研究表明，水稻产量的高低与成熟期氮素累积量关系密切，水稻单位面积产量与成熟期氮素积累量的关系一般呈抛物线型曲线[17]。本试验中，3 种氮肥运筹方式下，水稻的分蘖数在整个生育期总体均呈先增后减的趋势，其中 CRU 处理成穗率较低（68.3%），SSNM 成穗率最高，为 77.19%，表明前者无效分蘖较多，后者无效分蘖较少。前人研究也表明前期施氮过多可使氮素过多地积累在植株叶片、茎鞘等非产量器官中，增加无效分蘖，使水稻“奢侈耗氮”现象严重，造成产量下降[19]。王海月等研究认为，缓释氮肥与常规尿素配施，可以增强水稻对养分元素的吸收利用，促进氮素向籽粒运转，提高氮肥利用率[20]。但本研究 CRU 为单施缓释肥，且作为单一基肥施用，尽管对生长前期的分蘖与成穗有较好的促进作用，但后期可能由于没有补施氮肥，造成南粳 9108 的有效穗数、结实率相对较低，从而明显影响了实际产量的形成。本试验中，SSNM 处理的有效穗数显著高于 FFP、CRU，结实率、千粒质量均与 FFP 相当，最终实际产量与 FFP 相当，且显著高于 CRU，说明了 SSNM 处理的适时适地调控对有效穗数形成促进作用较大，而 FFP 作为当地农民的习惯施肥模式也具有一定的可行性与现实性，从而保证得到较高的水稻产量。另该试验在苏北沿海盐土地区进行，滨海稻田盐分较高，对水稻吸收氮素具有一定抑制作用，并影响氮素的转化速率，进而影响施入氮肥的有效性[21]。而且又因当地外部环境因素变化大，气象等参数还存在多种不确定性，因而本研究中植物生长发育相关参数、产量要素及产量与其他农区相比要低一些[22-23]。

3.2　氮肥运筹对盐土水稻氮素吸收利用的影响

本试验 SSNM 处理下，南粳 9108 氮肥吸收利用率最高，为 32.3%，与贺帆等的试验结果[11]接近，说明该模式氮肥施用与水稻各生育期的需求量较为适配，氮肥利用率较高，最终获得较高的水稻产量。CRU 模式造成氮肥利用率的降低甚至氮肥吸收利用率只有不到 30%，且低于 FFP 施肥模式下的氮肥吸收利用率（30.3%），可能是本试验选用的缓释肥的养分释放周期较短，前期的“奢侈耗氮”和后期的低氮素供应共同导致产量下降，同时导致了低氮肥利用率。SSNM 处理下的南粳 9108 氮肥吸收利用率为 32.3%，这个数值与目前基本农田作物氮肥利用率的考核要求相差较远，其原因很大程度上在于沿海农区的盐土特性。郭柯凡研究也表明，滨海水稻氮肥吸收利用率仅在 30.63% ~ 32.18%[24]，这是因为水稻对氮素的吸收利用不仅受到基因型的影

响,还会受到外部环境的制约,如滨海稻田盐分较高必然会对水稻氮素吸收与转化利用产生影响[21]。当然本研究中插秧方式为人工移栽,仅施用 1 次基肥,相较机插秧栽插后施用 1—2 次的分蘖肥,氮肥利用率可能存在一定误差,还需结合生产实际进一步试验加以论证。

氮素生理利用率反映的是作物对所吸收的氮素转化到籽粒中的效率,能够影响水稻籽粒产量,只有使水稻吸收的氮素从营养器官转运到生殖器官,即由“源”入“库”,从而达到水稻增产的目的[25]。本试验中实地氮肥管理 SSNM 表现出比农民习惯施肥更好的氮肥生理利用率,说明这种运筹方式能以相同的氮素吸收量获得比农民习惯施肥更多的产量,肥效较高。而 CRU 和 FFP 施肥相比差异无统计学意义,即这 2 者所吸氮素对产量的贡献相当。CRU 在本试验中表现不佳,可能原因是该缓释肥的养分释放周期只有 90 d,可能导致了后期水稻养分供应不足。氮肥农学利用率反映了施用 1 kg 氮肥增加的产量,是吸收利用率和生理利用率的综合表达[26]。本试验中,CRU 相比 FFP 处理显著降低了水稻的氮肥农学利用率,而 SSNM 相比 FFP 显著提高了水稻的氮肥农学利用率,即缓释肥和实地氮肥管理分别以与农民习惯施肥相同的单位施氮量获得了低于、高于农民习惯施肥的单位产量。陈新红等研究表明,SSNM 氮素转运率显著高于农民习惯施肥[27],本研究对此结论提供了一定支持。SSNM 在本试验中是一种有效提高氮肥利用率的施氮模式,但也存在费时费工等特点,该模式有望在现代智能水肥一体化设施与系统中发挥作用。

4　结论

1)实地氮肥管理模式可减少水稻南粳 9108 无效分蘖产生,提高了成穗率(达到 77.19%),保证了有效穗数,进而表现出增产效果。该模式在沿海农区盐土以较低的氮肥投入情况下,水稻实际产量(8 730 kg/hm^2)和氮肥吸收利用率(32.3%)均高于其他 2 种施氮模式,具有一定的先进性。

2)在沿海农区盐土以习惯施肥模式生产水稻南粳 9108 具有一定现实可行性,相对而言,缓释氮肥模式可能因后期供氮不足而影响了水稻有效穗数与结实率,导致水稻产量、氮素积累总量和氮肥吸收利用率偏低。

参考文献:

[1] 宋　蝶,陈新兵,董洋阳,等. 养分专家系统推荐施肥对苏北地区水稻产量和肥料利用率的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(1): 68-75.

[2] 丁郭明. 江苏省水稻种植面积波动及其机制研究[D]. 扬州:扬州大学,2023:1-2.

[3] 晏　军,王伟义,李　斌,等. 秸秆还田下化肥减施对苏北地区水稻产量与氮素吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(5):74-82.

[4] 郭　立,梁天锋,唐茂艳,等. 不同施肥和耕作方式下强化栽培水稻的生长与氮素利用[J]. 中国农学通报,2007,23(1):185-188.

[5] 张　岩,马士学,王青菊,等. 不同氮肥施用量对水稻产量及品质的影响[J]. 北方水稻,2009,39(5):16-18.

[6] 杨泽敏,王维金,蔡明历,等. 氮肥施用期及施用量对稻米品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2002,21(5):429-434.

[7] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产精确定量栽培[J]. 北方水稻,2007,37(2):1-9.

[8] 丁艳锋,刘胜环,王绍华,等. 氮素基、蘖肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响[J]. 作物学报,2004,30(8):739-744.

[9] 陈贤友,吴良欢,李金先,等. 新型控释肥对水稻产量与氮肥利用率的影响探讨[J]. 土壤通报,2010,41(1):133-137.

[10] PENG S B,BURESH R J,HUANG J L,et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. Field Crops Research,2006,96(1):37-47.

[11] 贺　帆,黄见良,崔克辉,等. 实时实地氮肥管理对不同杂交水稻氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(2):470-479.

[12] PENG S B,HUANG J L,ZHONG X H,et al. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. Agricultural Sciences in China,2002,1(7):776-785.

[13] 洪立洲,刘兴华,王茂文. 江苏沿海特色盐土农业技术[M]. 南京:南京大学出版社,2015: 1-14.

[14] 剧成欣,陈尧杰,赵步洪,等. 实地氮肥管理对不同氮响应粳稻品种产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学,2018,32(3):237-246.

[15] 陈　军,叶荣榕,李程勋,等. 不同氮肥运筹方式对水稻氮素利用率及产量的影响[J]. 福建农业学报,2012,27(7):759-763.

[16] 王绍华,曹卫星,王强盛,等. 水稻叶色分布特点与氮素营养诊断[J]. 中国农业科学,2002,35(12):1461-1466.

[17] 许仙菊,马洪波,宁运旺,等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 营养与肥料学报,2016,22(2):307-316.

[18] 范立慧,徐珊珊,侯朋福,等. 不同地力下基蘖肥运筹比例

对水稻产量及氮肥吸收利用的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(10):1872−1884.
[19] 黄卫群,郝兴顺,冯志峰,等. 不同氮肥水平下水稻干物质生产量及氮素利用率研究[J]. 陕西农业科学,2010,56(4):7−9.
[20] 王海月,殷尧翥,孙永健,等. 不同株距和缓释氮肥配施量下机插杂交稻的产量及光合特性[J]. 植物营养与肥料学报,2017, 23(4):843−855.
[21] 洪明海,胡贵芳,敬　娜等. 盐渍土壤氮素转化的试验研究[J]. 水利科技与经济,2023,29(1):77−82,97.
[22] 倪艳云,吴静雅,王　飞. 不同品种缓(控)释肥对水稻产量与效益的影响[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(4):24−28.
[23] 胡中泽,杨大柳,衣政伟,等. 缓控释肥配施速效氮对优良食味粳稻南粳 9108 生长和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(6):125−130.
[24] 郭柯凡. 有机肥对滨海稻田氨挥发特征及氮素利用效率的影响[D]. 扬州:扬州大学,2023:53.
[25] 李旭毅. 两种生态条件下氮肥调控和栽培方式对水稻库源构建和光合生产及产量的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2011:18−20.
[26] 李云春,李小坤,鲁剑巍,等. 控释尿素对水稻产量、养分吸收及氮肥利用率的影响[J]. 华中农业大学学报,2014,33(3):46−51.
[27] 陈新红,叶玉秀,周　青,等. 实地氮肥管理对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(2):77−80.

Effect of Different Nitrogen Fertilizer Management Modes on Nitrogen Fertilizer Absorption and Utilization of Nangeng 9108 in Coastal Agricultural Areas

DING Ying[1], YAN Jun[2], LIU Xinghua[1], LIU Yanyan[1], HE Jiang[1], WAN Baijie[1]
(1. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China;
2. Xinyang Agricultural Experiment Station of Yancheng City, Yancheng 224332, China)

Abstract: In order to promote the cultivation of excellent tasting rice on saline soil in coastal agricultural areas of Jiangsu Province, the late medium geng-rice variety Nangeng 9108 was used as experimental material, and three different nitrogen application including FFP (farmer's conventional fertilization), CRU (slow release fertilizer) and SSNM (site-specific nitrogen management)) were conducted to study the effects of different nitrogen fertilizer management modes on rice growth, yield, and nitrogen fertilizer absorption and utilization. The results showed that SSNM treatment could effectively reduce ineffective tillering at the early growth stage of Nangeng 9108, achieve a high panicle formation rate of 77.19%, and obtain a high yield (8 730 kg/hm^2) with a lower nitrogen fertilizer input (220 kg/hm^2), and NUE (nitrogen use efficiency) was 32.3%. Under the FFP treatment, the yield of Nangeng 9108 was 8 571 kg/hm^2, and NUE was 30.3%. Under the treatment of CRU, the yield of Nangeng 9108 was 7 985 kg/hm^2, but NUE was only 22.3%. Therefore, to promote the planting of Nangeng 9108 on experimental saline soil, the SSNM can be prioritized, and the FFP also has certain practical feasibility.

Key Words: Rice; Nitrogen fertilizer management; NUE; Yield

董瑞芳,陈李一凡,刘　燕,等. 青稞鞘腐病菌产毒培养基的筛选及发酵产物对植物毒性的探究[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2025,42(1):51-59(2025-01-24). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.009.

青稞鞘腐病菌产毒培养基的筛选及发酵产物对植物毒性的探究

董瑞芳[1],陈李一凡[1],刘　燕[1],郑昊文[1],张海峰[2],姚　强[1*]
(1. 青海大学农林科学院 / 青海省农业有害生物综合治理重点实验室,青海 西宁 810003;
2. 南京农业大学植物保护学院 / 农业部作物病虫害监测与防控重点开放实验室,江苏 南京 210000)

摘要:近年来,青稞鞘腐病在我国的发生范围逐渐扩大且危害程度逐年加重,该真菌病害逐渐上升为青稞产区的主要病害,给青稞的安全生产带来严重挑战。本文针对青稞鞘腐病菌(*Dactylobotrys graminicola*)的次级代谢产物进行植物毒性研究。通过比较不同培养基发酵产物的植物毒性,发现寡营养培养液发酵产物植物毒性最强,明显抑制了青稞种子萌发(萌发率为 0)及根、芽的生长(根长、芽长抑制率均为 100%);借助扫描电镜和透射电镜观察到具有植物毒性的代谢产物能够明显破坏寄主细胞结构;通过对寄主植物酶活性的监测发现,具有植物毒性的发酵产物能够抑制寄主植物的 CAT 和 POD 活性。

关键词:青稞鞘腐病;次级代谢产物;植物毒性;生物测定
中图分类号:S432.4 + 4　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240111

青稞是藏区人民的主要粮食作物,在我国有着独特的生态和农业地位,主栽区在青海、西藏以及甘肃、四川、云南等省份的部分地区[1]。青稞产业更是作为青海省最重要的特色农业产业,已成为实施乡村振兴战略、“一优两高”战略、绿色有机农畜产品示范省和巩固脱贫成果的主要依托[2]。2009 年,何苏琴等在甘肃首次发现了危害青稞穗部的新病害——青稞鞘腐病,并分离出该病害的病原菌[3]。青稞鞘腐病主要发生在青稞孕穗期,在叶鞘上形成镰刀状病斑,造成青稞叶鞘内的幼穗部分或全部枯死,影响青稞抽穗,重病田病穗率可达 20% ~ 30%,且发病面积连年上升,严重危害青稞产量[4-5]。青稞鞘腐病菌与葡萄孢属 *Botrytis sp.*及其他的形态相似属 *Botrytis*-like 有明显区别,因此建立指葡孢霉属 *Dactylobotrys*(新属),模式种为禾生指葡孢霉 *Dactylobotrys graminicola*(新种)[6]。国内外学者对病原菌产生的毒素的研究表明,毒素会对寄主植物的水分代谢、防御酶体系、蛋白质代谢、核酸代谢、酚代谢、细胞超微结构等方面造成影响。张韶杰等研究发现,壳梭孢素毒素(FC 毒素)能促进蚕豆气孔开放,影响水分代谢从而造成植株萎蔫症状[7]。康振生等研究发现,禾谷镰刀菌产生的脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivaleno,简称 DON)毒素侵染小麦穗部后,与寄主植物细胞的内质网、细胞质和细胞质膜结合,可抑制寄主蛋白质的合成[8]。榆长喙壳菌[*Ceratocystis ulmi*(Buism.)C. Morean]产生的毒素(CU- 毒素)可抑制榆树体内那龙多酚的积累,致使寄主植物的抗病性降低;另外,镰刀菌酸及其衍生物能抑制榆树多酚氧化酶的活性,从而影响寄主植物酚代谢[9]。国内外已有文献仅报道了青稞鞘腐病菌的生物学和形态学特征,但对该病原菌的深入研究鲜有报道,其致病机理尚不明确。本文通过研究青稞鞘腐病菌产生的具有植物毒性的次级代谢产物,筛选该病原菌最佳产毒培养基,旨在探究该物质对寄主植物细胞超微结构以及防御酶活性的影响。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试菌株为本课题组采自青海省海北门源回族自治州青石嘴镇吊沟村青稞主产区典型鞘腐病症状的病穗,经分离纯化鉴定后获得的菌株,接种在马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)上保存备用。供试青稞品种昆仑 14 由青海大学农林科学院作物所提供。

供试培养基选取基础培养基[10]、Peter 培养基[11]、

收稿日期:2024-11-09;修回日期:2025-01-16。
基金项目:青海省杰出青年基金(2023-ZJ-944J)。
作者简介:董瑞芳(2000—),女,硕士研究生,主要从事植物病理学研究。Email: drf20182022@163.com。
* 通信作者:姚　强(1983—),博士,研究员,主要从事作物病害综合治理研究。Email: yaoqiang2010@126.com。

豆粉培养基[11]、甘油培养基[11]、寡营养培养基[11]、麦芽汁培养基[12]、液体马丁氏培养基[12]、发酵基本培养基[13]、初始液体培养基[14]和液体菌种培养基[15]共 10 种，名称及配方见表 1。

表 1　培养基名称及配方

编号	培养基名称	培养基组份
1	基础培养基	葡萄糖 20.0 g、酵母粉 5.0 g、无水磷酸二氢钾 6.0 g、无水硫酸镁 3.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
2	Peter 培养基	酵母膏 3.0 g、麦芽粉 3.0 g、蛋白胨 5.0 g、葡萄糖 20.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
3	豆粉培养基	可溶性淀粉 20.0 g、豆粉 15.0 g、蛋白胨 2.0 g、酵母膏 2.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
4	甘油培养基	甘油 20.0 g、蛋白胨 2.0 g、酵母膏 2.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
5	寡营养培养基	可溶性淀粉 10.0 g、蛋白胨 1.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
6	麦芽汁培养基	麦芽膏 130.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
7	液体马丁氏培养基	蛋白胨 5.0 g、葡萄糖 10.0 g、无水磷酸二氢钾 1.0 g、无水硫酸镁 0.5 g，加蒸馏水至 1.0 L
8	发酵基本培养基	酵母膏 10.0 g、葡糖糖 20.0 g、无水磷酸二氢钾 2.0 g、无水硫酸镁 1.0 g、氯化亚铁 0.2 g，加蒸馏水至 1.0 L
9	初始液体培养基	蔗糖 20.0 g、无水硫酸镁 0.5 g、无水磷酸二氢钾 1.5 g、无水磷酸氢二钾 1.5 g、蛋白胨 10.0 g，加蒸馏水至 1.0 L
10	液体菌种培养基	土豆 200.0 g、葡萄糖 20.0 g、无水磷酸二氢钾 3.0 g、无水硫酸镁 3.0 g、维生素 B1 0.01 g，加蒸馏水至 1.0 L
11	PDA 培养基（CK）	土豆 200.0 g、葡萄糖 20.0 g、琼脂粉 15.0 g，加蒸馏水至 1.0 L

1.2　试验方法

1.2.1　青稞鞘腐病菌毒素的提取。将分离获得的青稞鞘腐病菌菌株移至 PDA 培养基平板上 25 ℃培养，待它刚刚长满平板，从菌落边缘用 5 mm 打孔器打制菌碟，接种至新的 PDA 平板上，待它将要长满整个平板时在菌落边缘用 5 mm 打孔器打制菌碟，将菌碟放入灭菌后的装有 150 mL 不同种类发酵液的锥形瓶中，每个锥形瓶放入 6 个菌碟，供试发酵培养基共 11 种（表 1）。25 ℃摇床（YJLY-220，上海铱晶科技有限公司）黑暗恒温振荡（125 r/min）培养 14 d。将发酵液用 4 层纱布过滤，所得滤液加入等体积的乙酸乙酯充分混匀后，移入干净的分液漏斗中静置分层，萃取步骤重复 3 次，分出有机相后置于旋转蒸发仪（N-1200B，郑州予辉仪器设备有限公司）进行旋蒸浓缩，将获得的发酵产物冷冻干燥 24 h[16]，最终产物配制成 500 mg/L 溶液备用。

1.2.2　发酵产物的植物毒性测试。叶片点滴法：待青稞苗长至 3 叶 1 心时，剪取充分展开 3 叶的中下部叶段（长度约为 5 cm），用灭菌的枪头在叶片正面垂直制造微创伤，每个叶段均匀分布 3 个微创伤点，注意不能划穿叶片；点滴前准备盛放待测青稞叶片培养皿，将滤纸裁剪成直径约 8 cm 的圆片，把 2 层灭菌滤纸平铺于直径为 9 cm 的无菌培养皿内，添加无菌水浸湿滤纸片，去掉培养皿内的流动水。将浸湿的棉花放置叶片两端保湿，每皿放 3 张青稞叶片。将质量浓度为 500 mg/L 的发酵产物稀释样液用 10 μL 移液枪点滴在创伤处，每点 10 μL。每个处理重复 3 次，清水对照组（CK）点滴等量无菌水，置于 25 ℃条件下保湿培养，7 d 后观察叶片的坏死情况并借助 ImageJ 软件计算坏死面积。

种子生长抑制法：将滤纸裁剪成直径约 8 cm 的圆片平铺于直径为 9 cm 的无菌培养皿内，每皿放入 15 粒青稞种子，加入 10 mL 质量浓度为 500 mg/L 发酵产物稀释液，重复 3 次，向培养皿中加入 10 mL 无菌水作为清水对照组，置于 25 ℃条件下培养 7 d 后观察记录种子萌发及根、芽生长情况并计算抑制率。

种子萌发率 = 萌发种子数 / 总颗数 × 100%；

根长抑制率 =（对照组根长 − 处理组根长）/ 对照组根长 × 100%；

芽长抑制率 =（对照组芽长 − 处理组芽长）/ 对照组芽长 × 100%。

1.2.3　寄主植物超微结构观察。分别取点滴发酵产物 0、48、72 h 的样叶放入 2.5%戊二醛电镜固定液中 2 h，0.1 mol/L 磷酸缓冲液（PB，pH 值 7.4）配制的 1%锇酸中避光室温固定 7 h。接着用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液（PB，pH 值 7.4）漂洗 3 次（每次 15 min），再

依次放入 30%、50%、70%、80%、95%、100%乙醇中脱水(每次 1 h)。

将样本放入不同比例的丙酮和 Epon812 包埋剂中渗透,比例为 3∶1,37 ℃渗透 2~4 h;比例为 1∶1,37 ℃渗透过夜;比例为 1∶3,37 ℃渗透 2~4 h;纯 Epon812 包埋剂 37 ℃渗透 5~8 h。再插入倒有纯 Epon812 包埋剂的包埋板置于 37 ℃烤箱过夜后,继续放于 60 ℃烤箱聚合 48 h,取出树脂块备用。

用超薄切片机(Leica,UC7)将树脂块切成 60~80 nm 超薄切片,150 目方华膜铜网捞片。铜网于2%醋酸铀饱和酒精溶液避光染色 8 min 后用 70%乙醇和超纯水分别清洗 3 次;2.6%枸橼酸铅溶液避CO_2染色 8 min 后超纯水清洗 3 次。用滤纸稍吸干铜网切片后室温干燥过夜,再置于电子显微镜(HT7800/HT7700)下观察并采集图像。

1.2.4 植物防御酶活性测定。将发酵产物点滴在叶片上,分别于 12、24、48、72 h 后取样。使用试剂盒(购自北京索莱宝科技有限公司)测定不同处理时间后寄主植物的过氧化物酶(peroxidase,POD)、过氧化氢酶(catalase,CAT)、苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase,PAL)和多酚氧化酶(polyphenol oxidase,PPO)4 种防御酶活性。每个处理 3 次生物学重复,具体操作按试剂盒说明书进行。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 和 DPS 7.05 软件进行整理分析,以最小显著差异法(LSD)检验不同处理间的差异显著性,Origin 2021 制图。

2 结果与分析

2.1 培养基的筛选及发酵产物的植物毒性测试

由图 1 可知,质量浓度为 500 mg/L 的发酵产物稀释液点滴到青稞叶片上 7 d 后,能使青稞叶片产生不同程度的褐色病斑,且对照组没有出现明显病症;青稞种子在无菌水对照中正常生长,胚根发育良好,而不同培养液提取出的发酵产物稀释液处理 7 d 后,种子萌发受到了不同程度的抑制。综上所述,经不同培养基发酵后所得发酵产物均具有植物毒性,可引起植物出现坏死、褐变等病症,同时抑制作物种子萌发及根、芽生长。与其他供试培养基相比,寡营养培养基发酵所得产物,引起病症最严重且明显抑制种子萌发及根、芽生长,据此推断其植物毒性最强。

寡营养培养基摇培青稞鞘腐病菌 14 d,提取出的发酵产物点滴在离体叶片上 7 d 后出现的病斑面积为 183.57 mm^2,病斑面积显著高于对照(0 mm^2)($P<0.05$)(图 2);种子萌发率为 0,显著低于对照(100.00%)($P<0.05$)(图 3);根长抑制率达 100.00%,显著高于对照(-0.54%)($P<0.05$);芽长抑制率达 100.00%,显著高于对照(2.29%)($P<0.05$)(图 4)。综上所述,寡营养培养基发酵所得产物植物毒性最强,后续植物毒性研究均用此培养基进行发酵培养。

2.2 叶片表面电镜观察

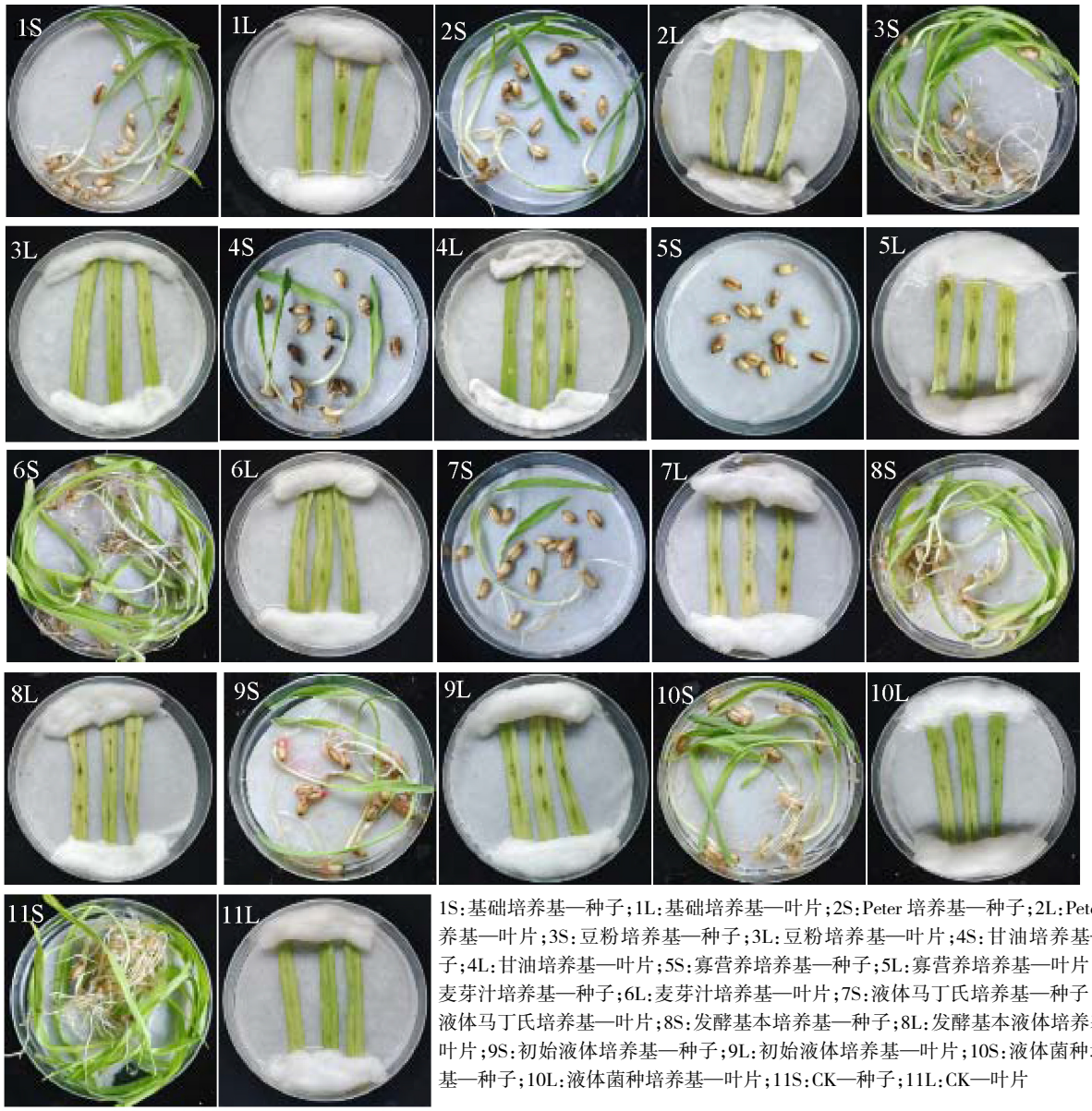
选用寡营养培养基摇培青稞鞘腐病菌,提取的发酵产物稀释成 500 mg/L 后点滴至青稞叶片,借助扫描电镜和透射电镜观察不同点滴时间后发酵产物对寄主植物细胞超微结构的影响。如图 5 所示,通过扫描电镜可观察到,青稞叶片未点滴发酵产物稀释液的部位表皮保卫细胞饱满、形状规则、排列紧密,点滴发酵产物稀释液的部位随着点滴时间增加,细胞凹陷、细胞间隙逐渐增大,表皮逐渐遭到破坏且破坏范围逐渐扩展。

如图 6 所示,通过透射电镜可观察到 72 h 时细胞损伤程度较高,细胞壁(CW)、细胞膜(CM)完整,但胞内基质溶解、游离,叶绿体(Chl)内基质均匀,基粒内囊体片层(IC)结构大多模糊、融合,线粒体(M)轻微肿胀,嵴断裂,液泡(V)膜破损,可见大量絮状物游离。48 h 相较于 72 h,细胞损伤程度相对较轻,细胞壁(CW)、细胞膜(CM)完整,胞内基质电子密度均匀,叶绿体(Chl)内基质均匀,基粒内囊体片层(IC)结构排列紊乱、厚薄不均,线粒体(M)轻微肿胀,液泡(V)膜局部破损,细胞器少量游离。

2.3 发酵产物对寄主植物防御酶活性影响

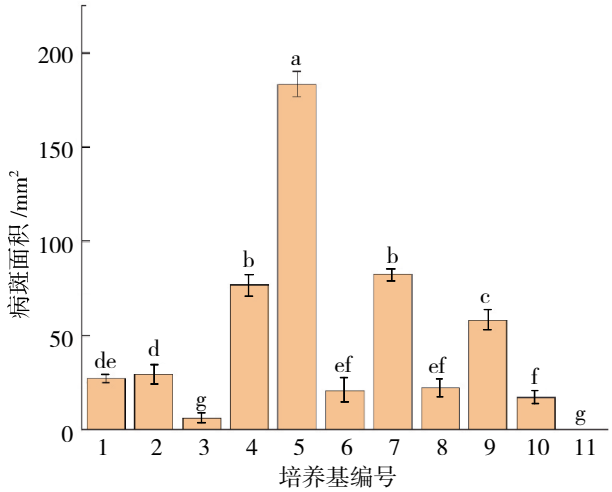
选用寡营养培养基摇培青稞鞘腐病菌,提取的发酵产物稀释到 500 mg/L 后点滴至叶片,测量不同点滴时间后过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和多酚氧化酶(PPO)的活性,比较不同点滴时间后发酵产物稀释液对寄主植物酶活性的影响。

如图 7 所示,点滴发酵产物稀释液后的叶片与点滴清水的对照组相比,过氧化氢酶(CAT)与过氧化物酶(POD)活力水平明显受到抑制,而点滴发酵产物稀释液的叶片苯丙氨酸解氨酶(PAL)和多酚氧化酶(PPO)活力水平略高于点滴清水的对照组叶片。



1S：基础培养基—种子；1L：基础培养基—叶片；2S：Peter 培养基—种子；2L：Peter 培养基—叶片；3S：豆粉培养基—种子；3L：豆粉培养基—叶片；4S：甘油培养基—种子；4L：甘油培养基—叶片；5S：寡营养培养基—种子；5L：寡营养培养基—叶片；6S：麦芽汁培养基—种子；6L：麦芽汁培养基—叶片；7S：液体马丁氏培养基—种子；7L：液体马丁氏培养基—叶片；8S：发酵基本培养基—种子；8L：发酵基本液体培养基—叶片；9S：初始液体培养基—种子；9L：初始液体培养基—叶片；10S：液体菌种培养基—种子；10L：液体菌种培养基—叶片；11S：CK—种子；11L：CK—叶片

图 1　不同培养基发酵产物对青稞种子和叶片的影响



图柱上不同小写字母表示差异具有统计学意义（$P<0.05$），图 3 至图 4、图 7 同

图 2　不同培养基发酵产物点滴青稞离体叶片 7 d 后病斑面积大小

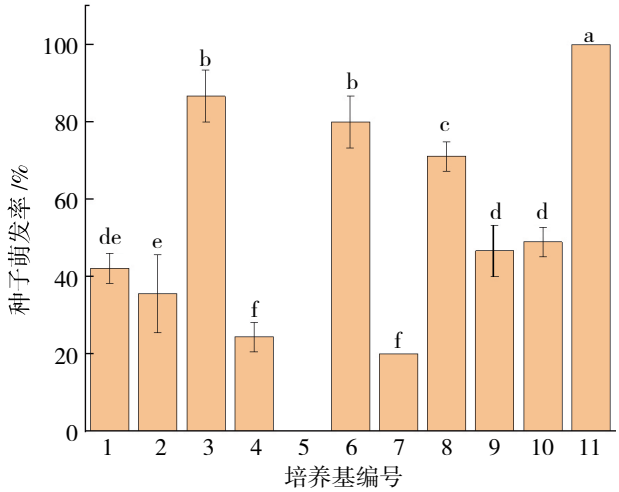


图 3　不同培养基发酵产物对青稞种子萌发的影响

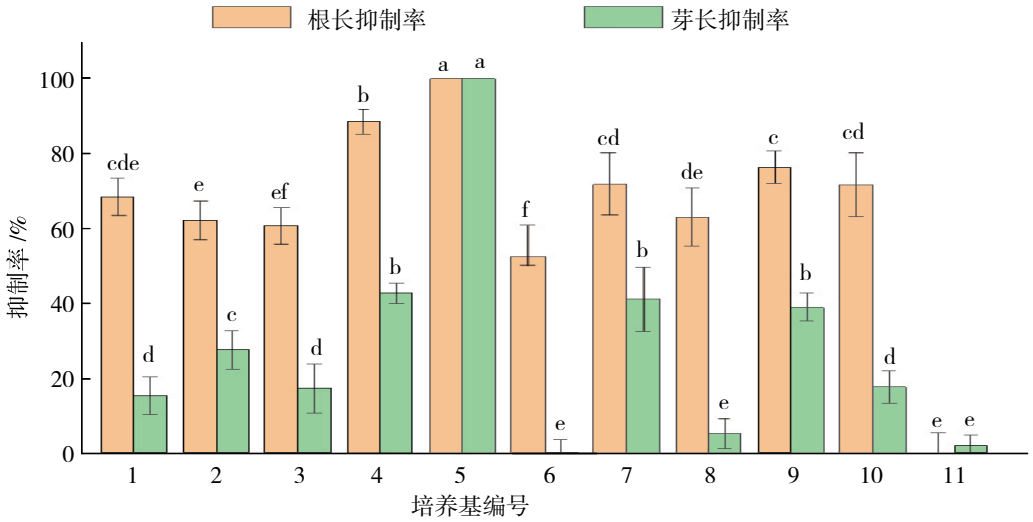
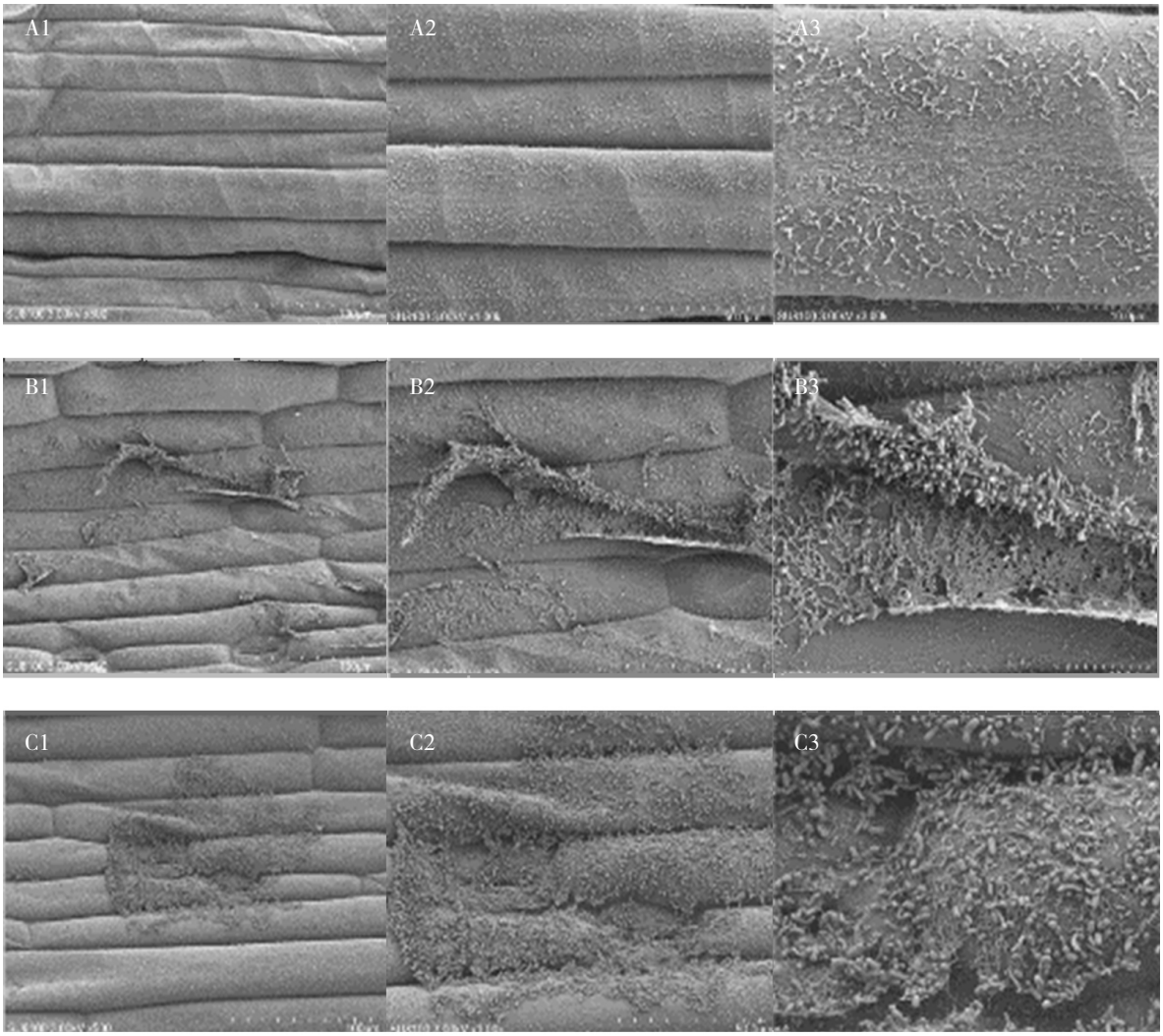
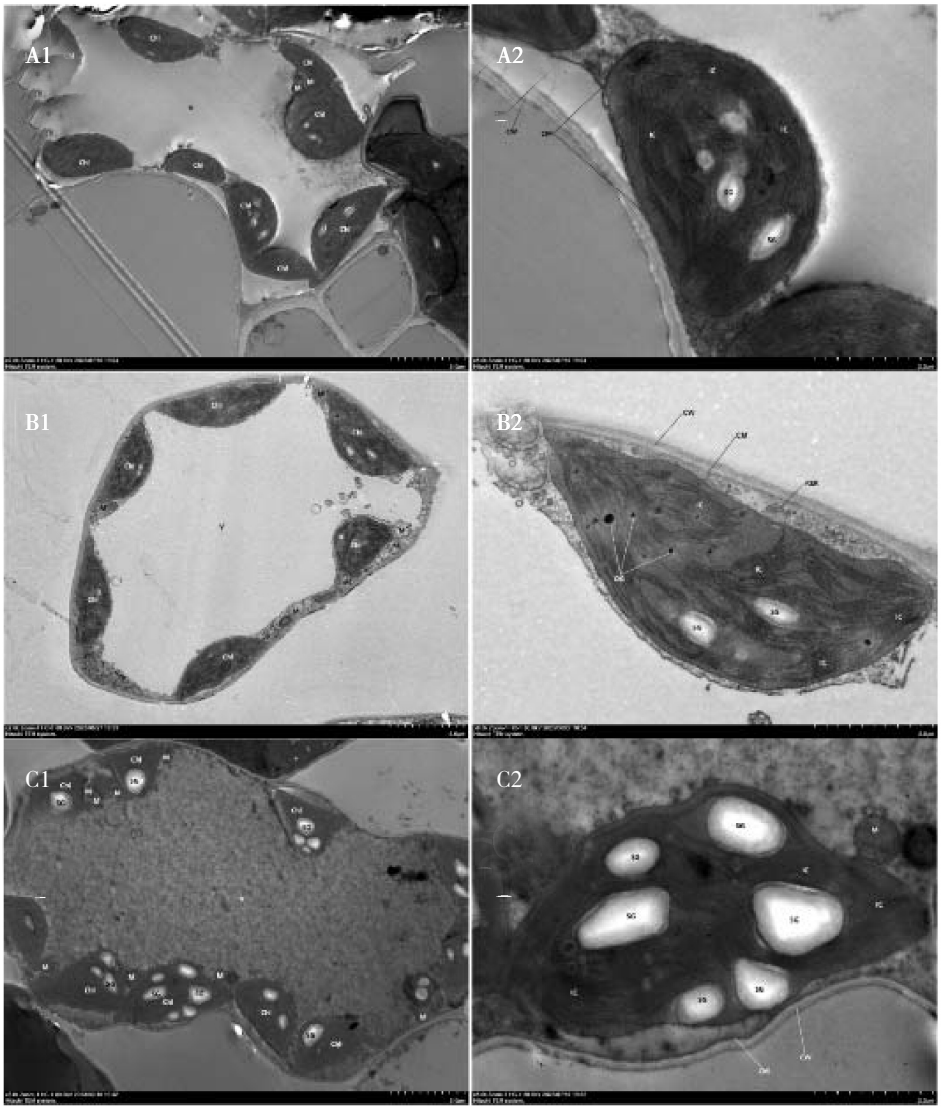


图 4　不同培养基发酵产物对青稞种子根长和芽长的影响



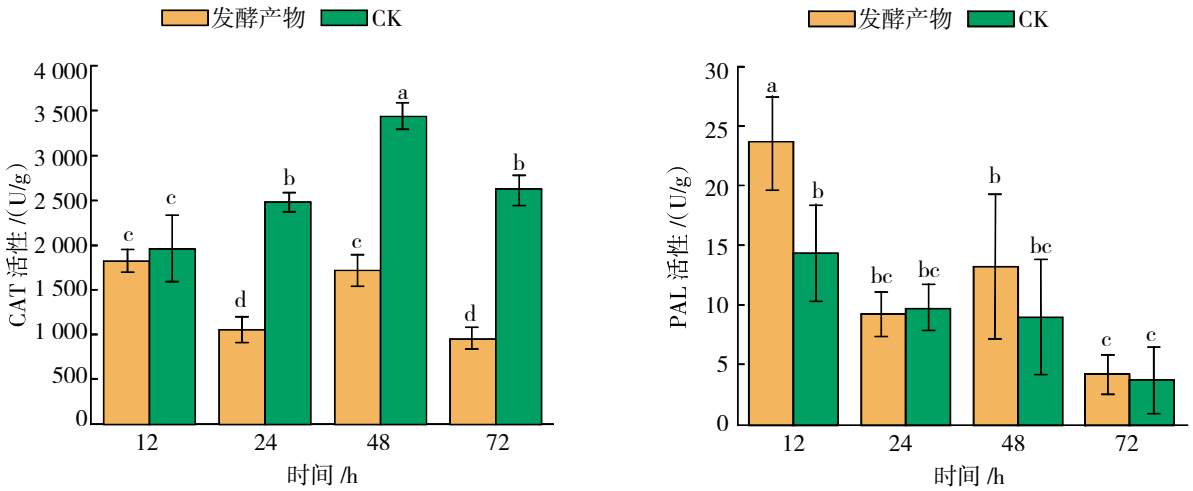
A1、A2、A3 为叶片点滴发酵产物 0 h；B1、B2、B3 为叶片点滴发酵产物 48 h；C1、C2、C3 为叶片点滴发酵产物 72 h。扫描电镜放大倍数自左列至右列分别为 500 倍、1 000 倍、3 000 倍

图 5　叶片点滴发酵产物不同时间后扫描电子显微镜图像



A1、A2 为叶片点滴发酵产物 0 h；B1、B2 为叶片点滴发酵产物 48 h；C1、C2 为叶片点滴发酵产物 72 h；透射电镜放大倍数自左列至右列分别为 2 000 倍、8 000 倍。CW—细胞壁；CM—细胞膜；Chl—叶绿体；IC—基粒内囊体片层；M—线粒体；V—液泡

图 6　叶片点滴发酵产物不同时间后透射电子显微镜图像



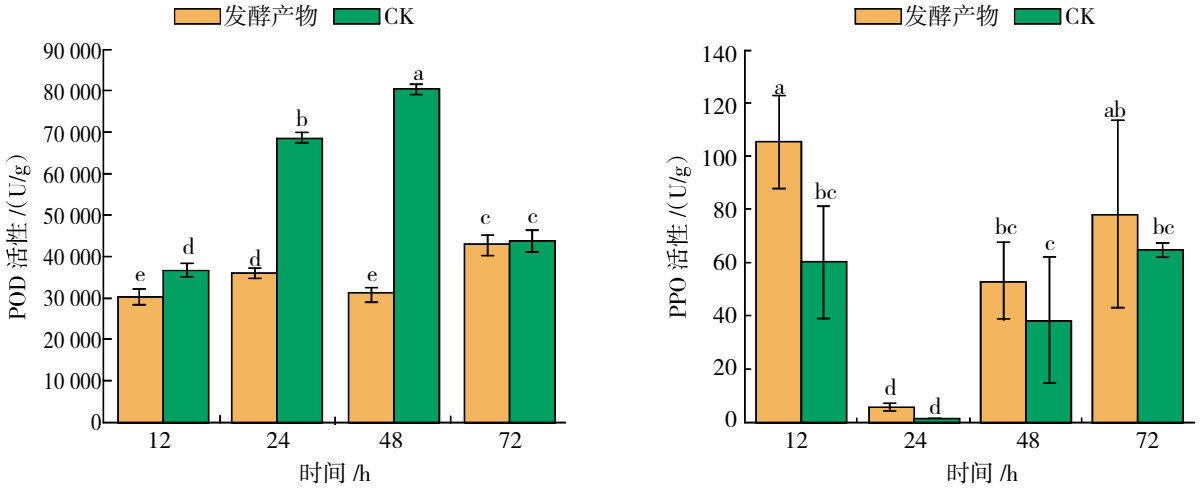


图 7　不同点滴时间发酵产物对寄主植物 CAT、PAL、POD、PPO 活性的影响

3　讨论

毒素是植物病原菌在生长繁殖过程中产生的有毒次级代谢产物，能够破坏寄主植物代谢，扰乱生理功能，使植物产生病害甚至死亡[17]。毒素大多为低分子量物质，利用毒素具有脂溶性或者水溶性的特性，借助有机物进行萃取，然后分离水相和有机相并通过直接加热、旋转蒸发或低温冷冻等方法浓缩，得到较高浓度的毒素粗提液或粗提物[16]。潘阳等在大豆毛口壳叶斑病菌产毒素的研究中，用乙酸乙酯萃取并旋转蒸发浓缩了大豆毛口壳叶斑病菌 SAT 毒素[18]。本试验通过获得青稞鞘腐病菌发酵产物并进行植物毒性测试，证明不同培养基发酵产物均具有植物毒性；在供试的 10 种培养基中，寡营养培养基发酵所得产物植物毒性最强，推测由于寡营养培养基中较少的营养成分形成不利于病原菌生长的逆境，胁迫病原菌产生较多毒素，但青稞鞘腐病菌毒素最佳的提取方法以及毒素的物理化学特性还需要进一步的探究。

真菌借助毒素破坏植物细胞结构，改变细胞通透性来促进自身的侵染与定殖。宋蒙娜等研究发现，玉米全蚀病菌毒素能使玉米根组织线粒体变形，外膜扭曲，嵴粒模糊并发生空泡化，叶绿体膜瓦解，基粒片层减少扭曲并膨胀，中间出现空泡[19]。本研究借助扫描电镜和透射电镜观察了点滴发酵产物稀释液后不同侵染时间下叶片细胞超微结构的变化，发现毒素的侵染会使细胞内基质溶解、游离，叶绿体中的基粒内囊体片层结构紊乱、薄厚不均、模糊融合，线粒体肿胀，嵴断裂，液泡膜破损。推测青稞鞘腐病菌产生的毒素通过破坏液泡膜，使植物细胞失去调节细胞渗透压和选择透过性的能力，最终导致细胞内水分和胞质 pH 失衡，利于有毒物质进入细胞内，促进病原菌对寄主植物细胞的侵染和定殖。

植物体内的防御酶研究较多且起主要作用的有 POD、CAT、PAL、PPO、SOD（超氧化物歧化酶）等[20]。其中，POD 能够清除过氧化氢和酚类等有毒物质，与呼吸、光合作用有关；SOD 能够清除氧自由基，而 POD 和 CAT 主要是清除经 SOD 歧化而产生的 H_2O_2 和超氧自由基，以避免对细胞造成伤害；PAL 与 PPO 是酚代谢的主要酶，能够产生并积累大量木质素在细胞壁的周围，限制病原菌的活动范围，帮助植物修复伤口[21]。寄主体内的防御酶活性会因寄主植物受到真菌毒素胁迫而发生变化[22]。张涛的研究表明，牡丹叶片受到 *Pilidium concavum* 毒素的胁迫后，SOD、CAT、POD 活性增加，而 PPO 活性受到抑制[23]。本研究分别测定了青稞叶片点滴发酵产物稀释液 12、24、48、72 h 后的 CAT、PAL、POD、PPO 这 4 种酶活性的变化，同时点滴清水作为对照组。结果表明，与清水对照组相比，青稞鞘腐病菌产生的毒素能够使寄主体内 PAL 和 PPO 的活性增加，而 CAT 和 POD 活性受到抑制，我们猜测可能是毒素刺激寄主植物进行酚代谢来修复伤口，致使酚代谢所需的 PAL 和 PPO 活性增加，同时破坏了寄主植物清除超氧自由基等有害物质的能力，使得相关酶（CAT 和 POD）活性降低。

青稞鞘腐病是严重危害青稞穗部的真菌病害之一，目前的研究主要集中于其生物学特性、遗传多样性和致病力等方面，其致病机理目前尚不明确。本研究通过筛选最佳产毒培养基，提取次级代

谢产物，探究该病原菌次级代谢产物的植物毒性，研究毒素对细胞超微结构及各类防御酶活性等生理生化反应的影响，为揭示青稞鞘腐病菌的致病机制及病原菌与寄主的互作机制奠定了基础。

4　结论

1）本研究选取 10 种培养基（除对照外）对青稞鞘腐病菌进行发酵，对所得的发酵产物进行植物毒性测试，得到最适于青稞鞘腐病菌产毒的培养基为寡营养培养基。

2）青稞鞘腐病菌发酵产物毒素能够破坏青稞叶片细胞的超微结构，推测该过程与病原菌侵染和定殖寄主植物细胞相关。

3）青稞鞘腐病菌产生的毒素能够影响寄主植物的防御酶活性，即抑制 CAT 和 POD 活性、促进 PAL 和 PPO 活性。

参考文献：

[1] 陈　琳,蔺瑞明,王凤涛,等. 禾生指葡孢霉的遗传多样性及对苗期青稞的致病性[J]. 中国农业科学,2020,53(1):213-224.

[2] 李白家,史瑞琪. 加快培育优势产区，助力青稞产业高质量发展[J]. 青海农技推广,2021(2):53-54,68.

[3] 何苏琴,王三喜,赵桂琴,等. 燕麦和青稞的一种新病害:鞘腐病[J]. 甘肃农业科技,2010,41(10):3-4,62.

[4] ZHANG H Q,CHEN L,DONG R F,et al. Establishment of recombinase polymerase amplification detection method for *Dactylobotrys graminicola*[J]. Scientific Reports,2024,14(1):25079.

[5] 杜春梅,张海青,姚　强. 青海省青稞鞘腐病菌遗传多样性分析[J]. 青海大学学报,2023,41(4):33-39.

[6] 何苏琴,文朝慧,王生荣,等. 引起青稞和燕麦鞘腐病的无性型菌物新属种:禾生指葡孢霉[J]. 菌物学报,2015,34(3):331-340.

[7] 张韶杰,韩玺柱,佘小平. 壳梭孢素促进蚕豆气孔开放与保卫细胞 H_2O_2 的关系[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2009,37(2):78-80.

[8] 康振生,黄丽丽,BUCHENAUER H. 小麦穗组织中脱氧镰刀菌烯醇毒素的免疫细胞化学定位[J]. 植物病理学报,2004,34(5):419-424.

[9] 韩　珊,朱天辉,李芳莲. 植物病原真菌毒素作用机理研究进展[J]. 四川林业科技,2008,29(6):26-30.

[10] 魏宝红,刘　佳,毕旺华,等. 药用真菌桑黄的液态发酵工艺优化及体外抗肿瘤活性研究[J]. 生物化工,2023,9(4):19-25.

[11] 王路生,王欣茹,许芙蓉,等. 淡水真菌 *Acremonium tubakii* BMC-58 产多肽 cephaibol A 的发酵工艺及抗菌活性[J]. 山西医科大学学报,2023,54(7):988-995.

[12] 熊　赢,徐　宁,黄君慧,等. 灭螺真菌橘灰青霉菌 Z12 株培养基及发酵条件优化[J]. 中国血吸虫病防治杂志,2023,35(2):137-146,205.

[13] 王常贵,谭智杰,张巧毅,等. 一株产多糖真菌的筛选、鉴定与发酵条件优化[J]. 湖南农业科学,2023(2):1-6.

[14] 陈科霖,王明元,尤长胜,等. 金线莲分泌IAA 内生真菌的筛选与鉴定及其发酵条件优化[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2022,43(3):348-354.

[15] 柴新义,李梦宇,于士军,等. 青檀内生真菌高抗氧化活性菌株筛选及其培养条件优化[J]. 武夷学院学报,2021,40(6):23-28.

[16] 张利辉,董金皋,刘云惠. 植物病原真菌毒素的分离与纯化技术[J]. 现代科学仪器,2001(2):56-59,62.

[17] 陈　莹,李钰萍,李二峰. 植物病原真菌毒素的研究进展[J]. 天津农林科技,2023(2):40-43.

[18] 潘　阳,朱晓峰,王媛媛,等. 大豆毛口壳叶斑病菌产毒素的研究[J]. 植物病理学报,2011,41(6):596-603.

[19] 宋蒙娜,李秀琴,姚建民. 玉米全蚀病病菌侵染过程及其毒素的初步研究[J]. 玉米科学,1995,3(S1):64-67.

[20] 钟小刚. 甘肃省苹果链格孢叶斑病病原鉴定及诱导抗病性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013:12-13.

[21] 李姝江. 杂交竹梢枯病菌蛋白毒素及其精确作用机制研究[D]. 雅安:四川农业大学,2013:16-17.

[22] 丁　丁. 抗镰刀菌百合无性系离体筛选及抗病生理的初步研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009:4-6.

[23] 张　涛. *Pilidium concavum* 毒素产生条件及致病机理的研究[D]. 洛阳:河南科技大学,2011:30-37.

Screening of Toxinogenic Medium for Hulless Barley Sheath Rot and Study on Phytotoxicity of Fermentation Products

DONG Ruifang[1], CHEN Liyifan[1], LIU Yan[1], ZHEN Haowen[1], ZHANG Haifeng[2], YAO Qiang[1]
(1. Qinghai Provincial Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management / Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810003, China; 2. Key Laboratory of Monitoring and Management of Crop Diseases and Pest Insects, Ministry of Agriculture / College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210000, China)

Abstract: In recent years, the occurrence range of highland barley sheath rot in China has gradually expanded, and the degree of harm has increased year by year. The fungal disease has gradually risen to become the main disease in highland barley production areas, which has brought serious challenges to the safe production of highland barley. In this study, the phytotoxicity of the secondary metabolites of *Dactylobotrys graminicola* was studied. Through the comparison of the phytotoxicity of fermentation products in different media, it was found that the fermentation products of oligotrophic culture broth had the strongest phytotoxicity, which significantly inhibited the germination of barley seeds (germination rate was 0) and the growth of roots and shoots (the inhibition rate of root length and shoot length was 100%). By means of Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM), it was observed that phytotoxic metabolites could significantly damage host cell structure. Through the monitoring of the enzyme activity of the host plant, it was found that the fermentation products with plant toxicity could inhibit the CAT and POD activities of the host plant. The results of this study can lay a foundation for the subsequent revelation of the pathogenic mechanism of hulless barley sheath rot.

Key Words: Hulless barley sheath rot; Secondary metabolite; Phytotoxicity; Bioassay

（上接第 36 页）

Effects of Intercropping of Different Varieties on Agronomic Traits and Yield of Wheat

WANG Min, HU Mengmeng, LAI Wen, GUO Lingling, LI Lu, CHI Baoming, ZHANG Yanqing, LI Yige
(Baoji Agricultural Technology Extension and Service Center, Baoji 721001, China)

Abstract: In order to explore a simple method for increasing crop yields for large-scale growers, eight agronomic traits, yields, and their constituent factors were compared including Weilong 169 single planting, Xinong 865 single planting, Shandao 198 single planting, 1/3 Weilong 169+2/3 Shandao 198 mixed planting, 1/2 Weilong 169+1/2 Shandao 198 mixed planting, 2/3 Weilong 169+1/3 Shandao 198 mixed planting, 1/2 Weilong 169+1/2 Xinong 865 mixed planting, and 1/2 Xinong 865+1/2 Shandao 198 mixed planting. The results showed that the yields of 1/3 Weilong 169+2/3 Shandao 198 mixed planting and 1/2 Weilong 169+1/2 Shandao 198 mixed planting ranked first and second, respectively, which were 1.43% and 1.38% higher than that of Shandao 198 single planting, and 9.43% and 9.35% higher than that of Weilong 169 single planting. Although there is no significant difference in yield between mixed planting and single planting, the operation is simple and does not increase production costs. For large-scale growers, it can still improve certain economic benefits. It is suggested that Weilong 169 and Shandao 198 mixed planting should be selected based on soil fertility and climate.

Key Words: Wheat; Intercropping; Single planting; Comparison; Increase production

曹元元,王先如,陈次娥,等. 复合微生物菌剂对华麦 1028 生长发育及产量因子的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):60-64,70(2025-02-13). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.010.

复合微生物菌剂对华麦 1028 生长发育及产量因子的影响

曹元元,王先如,陈次娥,张安存,刘　倩,蔡秋峰,丁文凯
(江苏省大华种业集团有限公司育种研究院盐城研究所,江苏 盐城 224235)

摘要:为探究复合微生物菌剂对华麦 1028 生长发育及产量结构的影响,通过田间试验,设置 4 种处理,探究不施加肥料仅单独使用复合微生物菌剂以及在常规施肥的基础上使用复合微生物菌剂,对华麦 1028 生育期、株高、越冬苗、高峰苗、成穗率、有效穗数、穗长、穗粒数、千粒质量等田间表型及产量结构的影响。结果表明:处理 2 产量较 CK 增加 5.3%,处理 3 较处理 4 增产 15.1%。同时,越冬苗、高峰苗、成穗率及有效穗数、穗粒数较对照显著增加;不施加常规肥料仅添加复合微生物菌剂,小麦生育期较 CK 晚 1 d;正常施肥的情况下添加生物菌剂使生育期提前 1 d。可见复合微生物菌剂能够提高小麦的产量结构、提升化肥的利用率并调节小麦生育期。

关键词:复合微生物菌剂;小麦;产量;田间性状
中图分类号:S512.1　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-6486-20240113

小麦(*Triticum aestivum* L.)是我国的主要粮食作物之一,其产量的稳定性对保障我国粮食安全至关重要。近年来,国际粮食市场波动加剧,地缘政治冲突和气候变化等因素导致全球粮食供应链不稳定,势必要不断提高小麦等粮食作物的产量,才能保证我国的粮食安全。在追求小麦等粮食作物高产时,过量施用化肥会使土壤中盐分浓度增加,破坏土壤团粒结构,使土壤孔隙度减小,通气性和透水性变差,导致土壤板结,改变土壤环境,使有益微生物数量减少,有害微生物可能增多,破坏土壤微生物平衡,影响土壤生态功能从而不利于小麦根系生长和对水分、养分的吸收。尤其是过量施入单一或某几种肥料,如大量施氮肥,忽视磷、钾及中微量元素肥,会使土壤中氮、磷、钾等养分比例失调,影响小麦对其他养分吸收,还会导致土壤养分库失衡,降低土壤肥力可持续性[1]。为进一步推进小麦产业高质量发展,合理施用肥料、提高肥料利用率已成为当前粮食生产中亟待解决的问题。

土壤养分的高低和供应养分的能力直接影响作物的生长发育及产量。已有研究表明:鞘氨醇单孢菌属(*Sphingomonas*)和节杆菌属(*Arthrobacter*)可提高土壤氮素转化和作物的抗病性[2];施用枯草芽孢杆菌可以有效地提高土壤有机质、速效磷、速效钾的含量[3]及土壤中的氮含量[4];木霉菌能促进土壤释放 P、K、Fe、Zn、Mn 等无机质[5],还可增加土壤中有效氮[6]、有效磷的含量[7]。这些特殊的微生物可通过自身的生命活动改善土壤环境,防止有害微生物的滋生,增强植物的抗性,促进植物的生长。在现代农业生产过程中,常将这些微生物制成复合微生物菌剂,用于活化土壤养分、增强根际土壤酶活性、改善土壤理化性质、调节土壤中微生物菌群结构[8],提高植株根系对土壤中养分的吸收利用,增强植物光合作用能力,增加作物产量,提高经济效益[9]。目前生物菌剂已在辣椒[10]、西红柿[11]、西瓜[12]等蔬菜瓜果、经济作物及水稻[13-14]、玉米[15]、小麦[16]等粮食作物中都得到广泛应用,且取得很好的效果。

研究表明,含 3 株地衣芽孢杆菌的生物菌剂可控制小麦纹枯病和条锈病的发病程度,同时增加小麦穗粒数,提高产量[17];含枯草芽孢杆菌 B1514 的微生物菌剂,可提高小麦的纹枯病、根腐病和全蚀病的防治效果[16]。以往生物菌剂在小麦上的应用主要集中在单一菌剂对小麦病害的防治。本研究则以春性小麦品种华麦 1028 为材料,配施复合微生物菌剂,旨在探明不施加肥料仅单独使用复合微生物菌剂以及在常规施肥的基础上使用复合微生物菌剂对华麦 1028 生长发育及产量因子的影响,为生物菌剂在农业可持续发展中的应用提供依据,为农业“三减”背景下小麦节本增效绿色种植提供依据和

收稿日期:2024-11-14;修回日期:2025-02-08。
作者简介:曹元元(1993—),女,硕士,助理农艺师,主要从事水稻育种研究与农作物新技术的试验示范。Email: 1468713126@qq.com。

实践参考。

1　材料与方法

1.1　试验概况

试验于 2023 年 10 月至 2024 年 6 月进行，试验地点位于江苏省盐城东台市弶港农场大华育种研究院盐城研究所试验田（120°45′E、32°46′N）。土壤类型为砂性潮盐土，地势平坦，该试验田有机质含量（质量分数，下同）17.20 g/kg、全氮含量 1.04 g/kg、速效钾含量 89 mg/kg、速效磷含量 21.39 mg/kg、碱解氮含量 90.13 mg/kg，pH 值为 7.79，土壤肥力水平中等，养分分布均匀，常年种植制度为小麦 – 水稻两熟制。

10 月下旬水稻收获后，适墒、耕翻、整地，10 月底播种，出苗整齐一致；12 月中下旬雨水天气较多，补充土壤水分，促进小麦分蘖正常生长。2024 年 2、3 月份气温起伏较大，有 2 次“越冬”现象导致拔节期较往年晚；抽穗扬花期多阴雨天气，进行多次赤霉病防治。5 月份光照、温度适宜，没有极端高温天气出现，有利于籽粒灌浆。

1.2　试验材料

供试小麦品种为春性小麦品种华麦 1028（审定编号：国审麦 20180007），品种来源：扬麦 11/ 华麦 0722，由江苏省大华种业集团有限公司提供。供试菌剂为“爱格丽地力生”微生物菌剂（爱格丽生物科技有限公司生产，含有枯草芽孢杆菌、贝莱斯芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌，总有效活菌数≥50.0 亿 /g，可提高化肥利用率，改善土壤环境，促进作物生长）。尿素（氮含量≥46%），由润垦生物科技（山东）有限公司提供；复合肥（N、P_2O_5、K_2O 质量比为 15∶15∶15），由山西天泽煤化工集团有限股份公司提供。

1.3　试验设计

试验设置 4 个处理，每个处理设 3 次重复，每个小区面积 30 m^2。小区之间留明显的分界，避免串水串肥。其他管理同当地大田常规。

CK：不施肥；处理 1：施 1.0 kg/667 m^2 微生物菌剂，人工均匀抛撒，不施任何肥料；处理 2：常规基肥 + 1.0 kg/667 m^2 微生物菌剂，在其他生长发育期正常施肥；处理 3：整个生长发育期正常施肥。具体见表 1。

表 1　试验设计

处理	基肥	追肥
CK	无	无
1	1.0 kg/667 m^2 微生物菌剂	无
2	尿素 15.0 kg/667 m^2+ 磷酸氢二铵 11.0 kg/667 m^2+ 1.0 kg/667 m^2 微生物菌剂	尿素 7.5 kg/667 m^2；尿素 10.0 kg/667 m^2；复合肥 8.0 kg/667 m^2
3	尿素 15.0 kg/667 m^2+ 磷酸氢二铵 11.0 kg/667 m^2	尿素 7.5 kg/667 m^2；尿素 10.0 kg/667 m^2；复合肥 8.0 kg/667 m^2

1.4　田间管理

2023 年 10 月 23 日以人工抛撒的方式抛施基肥；10 月 25 日对试验田块进行旋耕；10 月 30 日小区播种机进行条状播种，播种量 15.0 kg/667 m^2；在 2023 年 12 月 12 日、2024 年 3 月 11 日、2024 年 3 月 19 日分别对处理 2、处理 3 以人工抛撒的方式追施尿素、复合肥。生长期对小麦进行防病防虫，具体措施如下：2024 年 3 月 19 日，无人机喷施 30% 醚菌酯 30 mL/667 m^2 + 44% 三唑酮 40 mL/667 m^2；4 月 7 日，无人机喷施 30% 醚菌酯 30 mL/667 m^2；4 月 16 日，无人机喷施 40% 多菌灵 125 mL/667 m^2+ 43% 戊唑醇 25 mL/667 m^2 + 磷酸二氢钾 10.0 g/667 m^2；4 月 22 日，无人机喷施 40% 丙硫菌唑·戊唑醇 40 mL/667 m^2 + 25% 氯氰·辛硫磷 80 mL/667 m^2 + 磷酸二氢钾 10.0 g/667 m^2。

1.5　调查方法

对 4 组不同处理的小麦进行田间生长发育期调查、记载。小麦出苗期选取 1 m 距离进行定苗，调查其基本苗、越冬苗、高峰苗、有效穗数并计算成穗率，每个重复随机选取 3 段，取平均值进行统计分析。小麦成熟后，在每个处理小区内随机选择 3 个样方，每个样方面积 1 m^2，调查有效穗数和株高，并在每个小区内随机取 10 株进行室内考种，统计穗长、穗粒数、千粒质量等指标，每个指标取平均值进行统计分析并计算理论产量，各处理小区小麦收获后进行测产及测定水分，计算标准水分下的实际产量。

1.6　统计与分析

利用 Excel 2019 软件进行数据统计与分析。

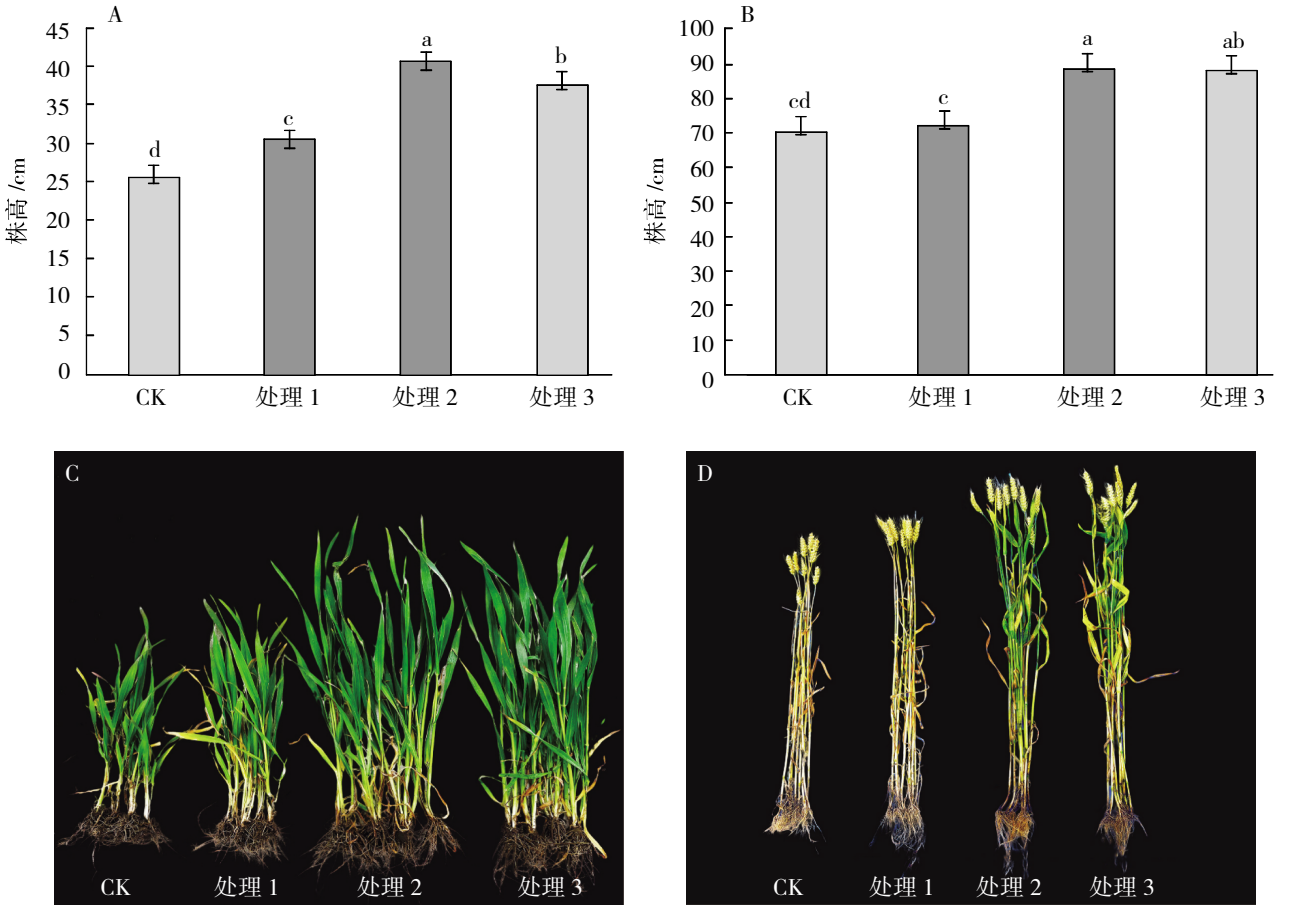
2　结果与分析

2.1　生育期

由表 2 可知，处理 2 的拔节期、抽穗期及成熟期均早于处理 3；处理 1 的拔节期早于 CK，但成熟期晚于 CK，且这 2 个处理后期因肥力不足均出现了早衰现象。结果表明，常规施肥情况下施用复合微生物菌剂可加快小麦生长、缩短生育期；在肥力不足的情况下施用复合微生物菌剂对春性小麦的早衰现象起到一定的缓解作用。经田间观察、统计，在拔节期，4 个处理中的株高分别为 25.4、30.5、40.6、37.4 cm，差异具统计学意义（$P<0.05$），处理 1 的株高显著高于 CK，处理 2 的株高显著高于处理 3（图 1-A、图 1-C）。但在小麦成熟后（图 1-B、图 1-D），处理 2 株高 88.7 cm、处理 3 株高 88.5 cm，两者间的差异无统计学意义，但处理 2 和处理 3 的株高明显高于未施肥料的 CK（株高 70.5 cm）和处理 1（72.2 cm），说明生物菌剂对株高的影响不显著（图 1-B、图 1-D）。

表 2　不同处理下华麦 1028 生育期进程

处理	播种期（月 - 日）	出苗期（月 - 日）	拔节期（月 - 日）	抽穗期（月 - 日）	成熟期（月 - 日）	全生育期 /d
CK	11-01	11-06	03-12	04-15	06-01	213
1	11-01	11-06	03-11	04-15	06-02	214
2	11-01	11-06	03-09	04-13	06-04	216
3	11-01	11-06	03-10	04-14	06-05	217



A、C 为拔节期不同处理之间株高比较；B、D 为成熟期不同处理之间株高的比较。图 A、B 中不同小写字母表示处理间差异有统计学意义（$P<0.05$）

图 1　华麦 1028 苗期与成熟期不同处理之间的比较

2.2　田间性状

由表 3 可知，常规施肥并添加生物菌剂的处理 2，越冬苗、有效穗数、成穗率均显著高于处理 3；仅添加生物菌剂的处理 1 相较于 CK 的越冬苗、有效穗数均显著增多。结果说明生物菌剂可增强华麦 1028 的分蘖性。

2.3　主要经济性状

由表 4 可知，处理 2 的有效穗数、穗粒数、理论产量及实际产量都显著高于处理 3；处理 1 的有效穗数、穗粒数、理论产量及实际产量都显著高于 CK；处理 2 与处理 3 的千粒质量差异不具有统计学意义，处理 1 的千粒质量显著高于 CK。结果表明生物菌剂可增加华麦 1028 的穗长、有效穗数、穗粒数及产量。

表 3　不同处理下华麦 1028 田间性状

处理	基本苗 /（株 /m²）	越冬苗 /（株 /m²）	高峰苗 /（株 /m²）	有效穗数 /（个 /m²）	成穗率 /%
CK	240.0	560.0 d	772.0 d	268.0 d	34.72 cd
1	240.0	588.0 c	872.0 c	304.0 c	34.86 c
2	240.0	872.0 a	1 224.0 a	476.0 a	38.89 a
3	240.0	828.0 b	1 212.0 ab	452.0 b	37.29 b

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异具有高度统计学意义（$P<0.05$）。下表同。

表 4　不同处理下华麦 1028 产量及其构成因素

处理	穗长 /cm	有效穗数 /（万个 /hm²）	穗粒数 /（粒 / 穗）	千粒质量 /g	理论产量 /（t/hm²）	实际产量 /（t/hm²）
CK	6.76 d	268.01 d	30.44 d	51.94 cd	4.24 d	5.13 d
1	7.44 c	292.01 c	36.44 c	52.15 c	5.61 c	5.40 c
2	8.89 a	497.02 a	42.40 a	52.68 a	11.10 a	11.33 a
3	8.78 ab	476.02 b	39.92 b	52.51 ab	9.98 b	9.84 b

3　讨论与结论

在农作物生产中，作物的产量和质量是评判肥效的重要指标。化肥可为农作物提供养分，促进农作物生长发育，提升其产量、质量。本试验 CK 与仅常规施肥的处理 3 相比，株高与有效穗数、穗长、每穗粒数等产量性状都显著降低，且未进行常规施肥的 CK 和处理 1 的小麦出现了早衰现象。说明化肥在小麦等农作物群体结构、光合物质积累、同化物质的分配等过程中发挥着至关重要的作用。

在农业生产中，肥料的科学使用可以提高作物的产量与品质。然而，化肥的过度使用不仅影响了生态环境，还破坏了耕地的综合生产力，对农业生产绿色健康发展形成了阻碍。生物菌剂通过微生物群体的生命活动促进土壤中物质的转化，改善土壤结构，活化土壤有机与无机养分，分解有机物，释放养分，增加养分的有效性，提高了土壤肥力，增加植物养分的供应量，进而促进了植物生长，改善了作物品质及农业生态环境[18]，因而得到广泛使用。叶灵芝等研究表明，在水稻上施用生物菌剂，可减少当季化肥使用量的 30%[19]。李荣发等研究表明，在夏玉米实际生产中，肥料配施生物菌剂能显著提高肥料吸收量和利用效率[20]。李延锋等研究表明，添加复合微生物菌剂能有效促进小麦的生长和提高产量，促进肥料养分的高效利用[21]。本试验结果表明添加生物菌剂的处理 2 小麦产量相较于处理 3 产量增加 15.1%，说明生物菌剂促进了小麦的生长发育，提高了小麦的产量。因此，在施肥过程中添加生物菌剂成为保持粮食可持续增产的一项重要举措。

小麦产量由单位面积有效穗数、每穗实粒数、千粒质量等决定。小麦在施用生物菌剂后，营养期与成熟期干物质积累量增多，小麦产量得到提高[21]。吴晓青等研究认为，使用生物菌剂处理冬小麦，可使冬小麦的出苗数、苗期生物量得到提高，在收获期产量显著增加[22]。刘树艳等使用含有 3 株地衣芽孢杆菌的生物菌剂提高小麦长势，控制小麦纹枯病和条锈病的发病程度，同时增加小麦穗粒数，提高产量[17]。本研究表明施用复合微生物菌剂后，3 个处

理中的单位面积有效穗数、每穗粒数及产量相较于 CK 都显著增加。不同研究中生物菌剂的菌种组成、含量、配比不同，对小麦的作用机制和效果也不同，不同小麦品种对生物菌剂的响应也有差异。本试验所用的生物菌剂含有多种有效菌，提高了华麦 1028 的有效穗数和穗粒数，从而达到增产效果。

本研究仅探索了不施加肥料单独使用生物菌剂与正常施肥下使用生物菌剂对小麦田间性状及产量的影响，对该微生物菌剂在华麦 1028 生长发育过程中的作用做出简单阐述。为保护生态环境并节约成本，还需探索在使用生物菌剂过程中的最佳施肥量，使效益最大化。

参考文献：

[1] 杨　帆,孟远夺,姜　义,等. 2013 年我国种植业化肥施用状况分析[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):217–225.

[2] 徐绍伟,林　凤,徐正国,等. 生物菌剂对烟田土壤理化性质细菌群落的影响及其相关性研究[J]. 安徽农业科学,2021,49(12):167–171.

[3] 徐洪宇,孙兴权,张　强,等. 枯草芽孢杆菌有机肥对土壤条件及烤烟产质量的影响[J]. 湖南农业科学,2017(7):55–58,64.

[4] 吴晓卫. 微生物菌肥改良渭北地区盐碱化土壤作用及效果研究[D]. 西安:西北大学,2015:37–39.

[5] 龚明波. 木霉厚垣孢子制剂的防病促生机制研究[D]. 北京:中国农业科学院,2004:44–45.

[6] 唐　磊,赵　敏,张荣沐,等. 棘孢木霉对青蒿生长量及土壤水解氮质量分数的影响[J]. 东北林业大学学报,2014,42(4):70–72,92.

[7] 迟　莉. 黄绿木霉菌及其混剂对辣椒植株及土壤的影响[J]. 黑龙江农业科学,2013(7):42–44.

[8] 王　哲,屠春宝,马　琨,等. 生物菌肥对土壤及农作物的影响研究进展[J]. 浙江农业科学,2024,65(10):2523–2528.

[9] 武杞蔓,张金梅,李　莹,等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展[J]. 生物技术通报,2021,37(5):221–230.

[10] 何淑平,吴兴彪,谢依涵,等. 木霉菌复合菌剂对辣椒和茄子生物量及土壤相关酶活性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2022,34(3):21–26.

[11] 石　磊,王　军,陈　云,等. 滴施生物菌剂对西红柿生长、品质及土壤理化性状的影响[J]. 西南农业学报,2020,33(3):584–589.

[12] 刘　珍,范巧兰,姚　众,等. 生物熏蒸配施微生物菌剂对西瓜生长发育及枯萎病的影响[J]. 中国植保导刊,2023,43(4):50–55.

[13] 赵婷婷,李　鹏,李德萍,等. 不同生物菌剂对水稻秧苗素质及产量品质的影响[J]. 北方水稻,2024,54(3):5–10.

[14] 吴周周,唐　雪,赵红艳,等. 不同生物菌剂对水稻产量及生理特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2021,52(1):79–84.

[15] 李可可,陈　腊,米国华,等. 微生物肥料在玉米上的应用研究进展[J]. 玉米科学,2021,29(3):111–122.

[16] 张雪娇,石晶晶,常　娜,等. 多功能土壤微生物菌剂在冬小麦上的应用效果[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):46–49.

[17] 刘树艳,丁　宁. 三株地衣芽孢杆菌对小麦抗病增产的试验研究[J]. 农业科技通讯,2018(5):164–166.

[18] 闫　锋,董　扬,赵富阳,等. 不同微生物菌剂对糜子生长及土壤酶活性的影响[J]. 黑龙江农业科学,2023(5):35–38,51.

[19] 叶灵芝,水亚萍,杨生华,等. 微生物菌剂在水稻上的应用效果试验[J]. 安徽农学通报,2018,24(7):63,97.

[20] 李荣发,刘　鹏,董树亭,等. 肥料配施枯草芽孢杆菌对夏玉米产量及养分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(9):1607–1614.

[21] 李延锋,王　峥,刘　杰,等. 生物有机无机肥在小麦上的应用[J]. 黑龙江农业科学,2020(5):24–26.

[22] 吴晓青,赵忠娟,李　哲,等. 施加木霉可湿性粉剂对冬小麦田间生长的影响[J]. 山东科学,2015,28(6):35–42.

（下转第 70 页）

顾　睿,杨　凯,仲庆钊,等. 高产优质新品种金粳 882 的选育及其配套栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):65-70(2025-01-09). https:// doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.011.

高产优质新品种金粳 882 的选育及其配套栽培技术

顾　睿,杨　凯,仲庆钊,孙亚红,裴海祎,周良玉
(江苏金色农业股份有限公司,江苏 盐城 224100)

摘要:金粳 882 是江苏金色农业股份有限公司以苏秀 867 为母本、12 繁 46 为父本,经人工杂交后采用系谱法,通过多年定向选育而成的优良粳稻新品种。金粳 882 2 年区域试验平均产量为 10 482.8 kg/hm^2,稻米品质达国家 3 级标准,中抗稻瘟病、条纹叶枯病,具有高产、优质、抗性强、适应性广等优点。基于其选育经过、品种特征特性,从秧苗培育、大田栽插、肥水管理、病虫草害防治、收获等环节进行系统总结,旨在为促进金粳 882 更大面积的推广应用,以及为此后粳稻新品种选育和栽培管理提供参考。

关键词:金粳 882;选育;品种特性;栽培管理
中图分类号:S511.2+2　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20240070

水稻在我国粮食生产中有着举足轻重的地位,有近 60%人口以大米为主食,水稻良种对提高产量和改善稻米品质起决定性作用。针对淮北稻区水稻品种较为单一、品种品质欠佳、抗病能力不强、易倒伏、产量潜力偏低等突出问题,以期培育出能够适应淮河以北生态区种植的优质高产水稻新品种。金粳 882 是江苏金色农业股份有限公司通过“苏秀 867/12 繁 46”杂交自主选育的优质高产粳稻新品种,2019—2020 年参加国家黄淮海粳稻组区域试验,2020 年参加国家黄淮海粳稻组生产试验,于 2022 年通过国家审定(审定编号:国审稻 20220277)。该品种产量高、品质优、抗性强、适种区域广泛,适宜在河南黄河沿线地区及信阳部分地区、山东南部部分地区、江苏淮河以北地区、安徽淮河沿线及淮河以北地区种植,在部分稻瘟病发病较弱的中粳稻区也可种植。现通过总结金粳 882 的选育经过、品种特征特性以及其配套的栽培技术,形成一套比较完整的粳稻新品种选育和栽培技术方案,促进其更大范围推广应用。

1　金粳 882 品种来源和选育经过

金粳 882 于 2013 年以苏秀 867 为母本、12 繁 46 为父本,经人工杂交、系谱法选育而成,具体经过见图 1。

2　金粳 882 品种特征特性

2.1　主要农艺性状

金粳 882 具备良好的综合表现,全生育期 153.6 d,比对照徐稻 3 号略晚,属中熟中粳品种,在生育前期表现出株型紧凑、分蘖力较强、叶色深、剑叶挺举、群体较整齐、透光性好的特点;在中期表现出茎秆粗壮、灌浆速度快、无 2 次灌浆的特点;后期田间表现着粒密度适中、半直立穗、穗大、熟相好、熟期适中、抗倒性较强。2019—2020 年江苏金色农业水稻联合体(国家黄淮海粳稻组)区域试验结果(平均值):金粳 882 株高达 96.7 cm,穗长为 16.6 cm,有效穗数达 321 万个 /hm^2,总粒数为 143 粒 / 穗,结实率高达 90.3%,千粒质量为 28.4 g,结合田间主要农艺性状及各项考种指标均表现良好。

2.2　产量表现

通过 2 年的区域试验和 1 年生产试验(表 1),金粳 882 均表现出较高的产量潜力。2019 年参加黄淮海粳稻组联合体区域试验,金粳 882 平均产量 10 791.9 kg/hm^2,比对照徐稻 3 号增产 5.3%,增产达显著水平;2020 年续试平均产量 10 173.7 kg/hm^2,比对照徐稻 3 号增产 6.7%,增产达极显著水平;2 年区域试验金粳 882 在各试点产量较对照都表现为增加。2020 年生产试验,金粳 882 在各试点产量较对照都表现为增加,平均产量 10 033.0 kg/hm^2,比对照徐稻 3 号增产 5.9%,增产表现极显著。

收稿日期:2024-07-25;修回日期:2025-01-07。
基金项目:江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS〔2021〕045)。
作者简介:顾　睿(1995—),男,硕士,农艺师,研究方向为水稻栽培及育种。Email: 1575895461@qq.com。

2013 年 盐城　苏秀 867 × 12 繁 46
↓
2013 年 海南　F_1 田间编号 0239
↓
2014 年 盐城　F_2 田间编号 1573，种植 2 000 株，选单株 10 株
↓
2014 年 海南　F_3 田间编号 1846，农艺性状表现为抗性好，选单株 8 株
↓
2015 年 盐城　F_4 田间编号 1172，种植表现为株高 96.2 cm，始齐穗期为 8 月 20—26 日，成熟期为 10 月 22 日，全生育期为 155 d，选单株 5 株
↓
2015 年 海南　F_5 田间编号 1348，种植表现为株高 95.7 cm，株型紧凑，熟相好，选单株 4 株
↓
2016 年 盐城　F_6 田间编号 1117，种植表现为株高 96.0 cm，始齐穗期为 8 月 18—25 日，成熟期为 10 月 20 日，全生育期为 153 d，抗性好，米质优，选单株 3 株
↓
2017 年 盐城　F_7 田间编号 1418，种植表现基本稳定，收种 0.5 kg 参加下年度品比试验
↓
2018 年 盐城　F_8 参加品比试验，编号 1049，种植表现为产量 10 695 kg/hm^2，株高为 96.5 cm，株型紧凑、叶色浓绿、抗倒伏、穗大、熟相佳、熟期适中，命名金稻 18049
↓
2019—2020 年　以金稻 18049 参加黄淮海粳稻组联合体区域试验
↓
2020 年　以金稻 18049 参加黄淮海粳稻组联合体生产试验
↓
2022 年　通过国家审定并定名为“金粳 882”

图 1　金粳 882 的品种来源和选育经过

表 1　金粳 882 在各承试单位的产量表现

承试单位	2019 年区域试验		2020 年区域试验		2020 年生产试验	
	产量 /(kg/hm^2)	较 CK 增 /%	产量 /(kg/hm^2)	较 CK 增 /%	产量 /(kg/hm^2)	较 CK 增 /%
安徽省滁州市农业科学研究院	11 457.0	6.0	8 317.5	9.6	—	—
江苏省淮安市白马湖农场	10 761.0	5.5	10 825.1	7.6	9 704.6	5.7
江苏省连云港市岗埠农场	11 643.0	11.7	10 851.9	7.2	—	—
江苏天丰种业有限公司	11 340.0	1.8	10 770.0	6.8	—	—
江苏中江种业股份有限公司	11 803.5	9.1	10 157.6	10.8	9 168.0	3.8
江苏省阜宁县农业科学研究所	10 327.5	5.6	9 607.5	3.7	—	—
江苏省沛县湖西农场	11 782.5	0.8	11 295.0	5.5	10 893.9	4.2
安徽省蚌埠市马城良种场	10 197.0	8.7	11 282.6	4.7	9 666.0	6.3
江苏省连云港市农业科学院	10 413.0	6.1	10 200.0	6.4	10 788.0	6.7
河南省农科院粮食作物研究所	10 405.5	8.6	9 687.5	5.6	9 837.0	5.9
山东省郯城县精华种业有限公司	10 212.0	1.5	9 902.6	5.7	10 512.0	8.7
安徽省淮南市农业科学研究院	10 369.5	1.4	9 362.6	3.4	10 881.9	11.6
山东省水稻研究所	9 750.0	0.1	10 262.6	7.2	9 690.0	3.5
河南省信阳市息县农业科学研究所	10 624.5	7.0	9 910.1	9.9	9 189.0	2.7
平均	10 791.9	5.3	10 173.8	6.7	10 033.0	5.9

注：CK 水稻品种为徐稻 3 号。“—”表示为未进行。

2.3　米质指标

结合农业农村部食品质量监督检验测试中心(武汉)2 年检测数据(表 2)分析,金粳 882 米质达优质稻 3 级国家标准。2019 年米质检测各项指标:金粳 882 糙米率达 84.5%,精米率达 74.6%,整精米率达 71.8%,粒长为 4.9 mm,长宽比为 1.7,垩白粒率达 26.0%,垩白度为 4.5%,直链淀粉含量(质量分数,下同)达 15.7%,胶稠度为 66 mm,碱消值为 6.8 级,透明度 1 级,达到国标 3 级优质稻标准。2020 年米质检测各项指标:金粳 882 出糙率达 84.4%,精米率达 75.5%,整精米率达 70.9%,粒长为 5.0 mm,长宽比为 1.7,垩白粒率达 19.0%,垩白度为 4.8%,直链淀粉含量达 15.6%,胶稠度为 74 mm,碱消值为 6.5 级,透明度 1 级,达到国标 3 级优质稻标准。2 年检测结果表明金粳 882 垩白粒率、胶稠度差异较大,其他各项指标无明显差异,可能是不同年份气候条件对稻米品质也有较大影响。

2.4　抗性指标

据江苏省农业科学院植物保护研究所和天津市植物保护研究所 2019 年接种鉴定(表 3),金粳 882 稻瘟病平均综合抗性指数 3.03,穗颈瘟最高损失率 3 级;2020 年接种鉴定,稻瘟病平均综合抗性指数 2.20,穗颈瘟最高损失率 1 级,稻瘟病抗性综合指数在江苏、天津 2 地差异较大,且不同年份间也有较大差异,综合 2 年鉴定结果评定为金粳 882 中抗稻瘟病。白叶枯病 2019 年接种鉴定,抗性 5 级;2020 年接种鉴定,抗性 5 级,2 年鉴定结果一样,评定为金粳 882 中感白叶枯病。条纹叶枯病 2019 年接种鉴定为 3 级,2020 年鉴定为 3 级,2 年鉴定结果一样,评定为金粳 882 中抗条纹叶枯病。

表 2　金粳 882 稻米品质分析

年份	国标等级	糙米率 /%	精米率 /%	整精米率 /%	粒长 /mm	长宽比	垩白粒率 /%	垩白度 /%	直链淀粉含量 /%	胶稠度 /mm	碱消值 / 级	透明度 / 级
2019	优 3	84.5	74.6	71.8	4.9	1.7	26.0	4.5	15.7	66	6.8	1
2020	优 3	84.4	75.5	70.9	5.0	1.7	19.0	4.8	15.6	74	6.5	1

表 3　金粳 882 对主要病害抗性综合评价结果

年份	稻瘟病					白叶枯病 / 级		条纹叶枯病 / 级	
	地方综合指数		穗颈瘟损失率最高级 / 级	综合评价		综合评价		综合评价	
	天津	江苏		平均综合指数	穗瘟损失率最高级 / 级	平均	最高	平均	最高
2019	4.3	1.75	3	3.03	3	4.0	5	3	3
2020	2.0	2.30	1	2.20	1	3.5	5	3	3

注:水稻穗颈瘟损失率群体抗性分级标准:0 级,无病;1 级,病穗损失率≤5.0%;3 级,病穗损失率在 5.1%~15.0%;5 级,病穗损失率在 15.1%~30.0%;7 级,病穗损失率在 30.1%~50.0%;9 级,病穗损失率在 50.1%~100.0%。稻瘟病抗性综合评价分级标准:0 级,高抗(HR),综合指数 < 0.1;1 级,抗(R),综合指数在 0.1~2.0;3 级,中抗(MR),综合指数在 2.1~4.0;5 级,中感(MS),综合指数在 4.1~6.0;7 级,感(S),综合指数在 6.1~7.5;9 级,高感(HS),综合指数在 7.6~9.0。综合指数 =(叶瘟病级 × 25%+ 穗瘟发病率病级 × 25%+ 穗瘟损失率病级 × 50%)。白叶枯病发病分级标准:0 级,剪口下无病斑;1 级,剪口下有很小病斑,长度不超过 3 cm;3 级,病斑占剩余面积的 1/4 左右;5 级,病斑占剩余面积的 1/2 左右;7 级,病斑占剩余面积的 3/4 左右;9 级,全叶发病甚至叶鞘也发病。条纹叶枯病抗性分级标准:0 级,无病;1 级,发病率在 0.01%~5.09%;3 级,发病率在 5.10%~15.09%;5 级,发病率在 15.10%~30.09%;7 级,发病率在 30.10%~50.09%;9 级,发病率在 50.10%~100.00%。发病率 =(病株数 / 总株数)× 100%。

2.5　适种区域

金粳 882 适种区域广泛,适宜在河南黄河沿线地区及信阳部分地区、山东南部部分地区、江苏淮河以北地区、安徽淮河沿线及淮河以北地区种植,在部分稻瘟病发病较弱的中粳稻区也可种植。在不同地区种植生育期略有差异,在盐城地区,正常年份 5 月 20 日左右播种,6 月 15 日左右移栽,始齐穗期在 8 月 15—25 日,成熟期在 10 月 20 日左右。在山东地区,正常年份 5 月 10 日左右播种,6 月 5 日左右移栽,始齐穗期在 9 月 1—10 日,成熟期在

10 月 20 日左右,全生育期加长。

3　金粳 882 配套种植及管理技术

3.1　适时播种,培育壮秧

选择发芽势好、发芽率在 95%以上、纯度较好的金粳 882 生产种,在晴朗的天气摊开晾晒 2 ~ 3 d,期间每天翻动 5 ~ 6 次,目的是打破种子休眠。播种前用杀螟·乙蒜素和氰烯菌酯浸种, 每 100 kg 稻种添加 17%杀螟·乙蒜素粉剂 300 g 和 25%氰烯菌酯悬浮剂 60 mL,或用精甲·咯菌腈(亮盾)400 mL 混水拌种。机插秧一般于 5 月 25 日左右播种,用种量一般为 70 kg/hm^2,建议采用“印刷播种”每盘撒种 100 g 左右;手插秧用种量一般为 40 kg/hm^2,适当稀播、培育壮秧,正常 5 月 20 日播种,6 月 15 日移栽。

培育壮秧,秧池管理极为重要。具体措施:播种后撒上基质,盖好无纺布,浸过种的秧板不需要灌水,自然落干,防止种子长期泡水腐烂,天气太干,可上“跑马水”;未浸种的秧板需及时大水漫灌 1 ~ 2 d,以保持苗床湿润加快催芽。雨水过多天气需注意秧池排水。秧苗 2 叶 1 心时即可上水揭膜,随即施加断奶肥(尿素 100 ~ 120 kg/hm^2),往后视苗情追施尿素或复合肥 2 ~ 3 次,每次施肥保持在 100 ~ 120 kg/hm^2,移栽前 2 ~ 3 d 施送嫁肥(尿素或复合肥 120 ~ 150 kg/hm^2),需注意在每次施肥前,秧板要保持浅水层,以防烧苗。在上水揭膜后和移栽前分别打 1 次药,混合喷施 40%稻瘟灵 75 g/hm^2、50%烯啶虫胺 150 g/hm^2、240 g/L 噻呋酰胺 450 g/hm^2,主要防治稻飞虱、稻瘟病、纹枯病。秧苗 3 ~ 4 叶时需打 1 遍除草剂(稻喜),主要防治稗草、千金子等禾本科杂草及部分阔叶杂草和莎草,注意秧池打药最好在无风的环境, 避开高温天气, 打药前需排干水, 2 ~ 3 d 后上水漫灌。

3.2　适时移栽,合理密植

在水稻移栽前,要旋耕并平整好大田。整地质量尤为重要, 对后期的田间管理起到非常大的作用,良好的环境对水稻的生长发育也很关键。先将前茬秸秆粉碎,然后深耕 15 ~ 20 cm,深耕可以增加土壤的透气性和疏松性,使得土壤环境更适合水稻根系发育,也能增强土壤的蓄水能力[1]。深耕完再进行旋耕,使得表层土壤疏松,便于栽插。随后灌水,机械平整,要求田间高低落差不超过 5 cm,沉实 1 ~ 2 d 后排水露田 1 ~ 2 d,待面泥稍硬,再灌薄水。栽插前适当排水,保持 2 ~ 3 cm 浅水层。机插秧和育苗移栽秧龄不宜过长,适龄移栽可促进秧苗生根发蘖[2]。机插秧秧龄控制在 20 d 左右, 一般 6 月中旬移栽,栽插要求一般为株距 12 cm、行距 25 cm,密度控制在 33 万穴 /hm^2 左右,每穴栽 4 ~ 5 株苗[3];手工栽插秧龄控制在 25 ~ 30 d,要求一般为株距 13.3 cm、行距 25 cm,密度控制在 30 万穴 /hm^2,每穴栽插 2 ~ 3 株。插秧过程需要人工监督和检验,可用无人机拍照巡查,发现有缺苗情况及时人工补栽,确保栽插质量。

3.3　肥水管理

全生育期施纯 N 300 ~ 375 kg/hm^2、P_2O_5 90 ~ 120 kg/hm^2、K_2O 225 ~ 240 kg/hm^2,基肥、分蘖肥、拔节孕穗肥的施氮质量比为 4 ∶ 3 ∶ 3。肥料运筹:1)施足基肥,基肥分 2 次施,第 1 次大田旋耕后用抛肥机抛施 48%复合肥(N、P_2O_5、K_2O 的质量比为 26 ∶ 12 ∶ 10)425 kg/hm^2, 第 2 次在上完薄水后抛施 48%复合肥 100 kg/hm^2; 2) 在秧苗移栽后 7 d 施返青肥,抛施尿素 150 kg/hm^2; 3)秧苗移栽后 15 ~ 20 d 施分蘖肥,抛施尿素 225 kg/hm^2;4)拔节孕穗期,抛施 45%复合肥(N、P_2O_5、K_2O 的质量比为 27 ∶ 6 ∶ 12)375 kg/hm^2;5)根据田间秧苗情况和不同时期水稻对肥料的需求情况适当补肥。偏施促花肥、保花肥和粒肥,看苗情少施或不施。适当喷施叶面肥,如硅肥、磷酸二氢钾等含多种微量元素肥料,促进水稻生长,修复受损伤叶片,提高水稻抗倒伏能力和防止早衰。

水浆管理:依据“薄水活棵、湿润促蘖、浅水勤灌、干湿交替”的原则进行水浆管理[2]。在刚出苗时,秧苗对水分的需求较少,保持土壤湿润即可。秧苗移栽到大田至返青阶段,以湿润灌溉为主;水稻分蘖期保持浅水层,促使更多分蘖,防止高温伤苗,多灌“跑马水”,干湿交替,促根发苗,够苗及时搁田[4];水稻幼穗分化至孕穗抽穗期时对水分较为敏感,此阶段田间保持浅水,促进生殖发育分蘖成穗、减少颖花退化[3];水稻灌浆结实至成熟期时,坚持勤灌勤排,做到干湿交替,保持水稻的根系活力,防止早衰,确保高产稳产;收获前 7 ~ 10 d 适时断水。

3.4　病虫草害防治

水稻生长过程中,病虫草害是影响产量的重要因素,可应用物理、化学、生物技术综合防治,大田生产主要以化学防治手段开展针对性重点防治[5]。水稻种子时期容易感染干尖线虫病和恶苗病,通过浸种药可以防治;秧田期容易感染立枯病、飞虱、稻

蓟马等，用 10%吡虫啉可湿性粉剂 150 g/hm²、40%稻瘟灵可湿性粉剂 75 g/hm²、60%烯啶虫胺可湿性粉剂 150 g/hm² 进行防治；返青分蘖期容易感染稻瘟病、纹枯病、螟虫、稻纵卷叶螟、稻飞虱等，用 40%三环唑悬浮剂 1 050 mL/hm²、24%噻呋酰胺悬浮剂 600 mL/hm²、5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂 900 mL/hm²、10%吡虫啉可湿性粉剂 450 g/hm² 进行防治；拔节孕穗期容易感染纹枯病、螟虫、稻纵卷叶螟、稻飞虱、细菌性条斑病等，用 50%苯甲·丙环唑水乳剂 300 mL/hm²、10%阿维·甲虫肼悬浮剂 750 mL/hm²、3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳剂 375 mL/hm²、60%烯啶虫胺可湿性粉剂 150 g/hm²、20%噻唑锌悬浮剂 1 500 mL/hm² 进行防治；抽穗扬花期、灌浆结实期主要防治稻纵卷叶螟、稻飞虱、穗颈瘟、稻曲病等，结合药物进行综合防治，可喷施 40%三环唑悬浮剂 1 200 mL/hm²、16%甲维·茚虫威悬浮剂 600 mL/hm²、苯甲·嘧菌酯悬浮剂 600 mL/hm²，再配合施用 14- 羟基芸苔素甾醇 150 g/hm²，对水稻生长具有调节作用。梅雨季节注意田间排水透气，也是预防病虫害传播的重要途径。

杂草防控同样是水稻田间管理不可忽视的重点，杂草会跟水稻竞争营养，杂草过多也会影响田间透光性，阻碍水稻生长[6]。具体防治措施：大田秧苗移栽前打 1 次封闭，结合第 2 次施底肥拌除草剂 30%苯·苄·甲草胺（田毛）泡腾片 900 g/hm² 施用，随后保水 2 ~ 3 d。第 2 次封闭加茎叶除草于秧苗移栽后 15 ~ 20 d，排水保持田间湿润，用 10%氰氟草酯 900 mL/hm² + 13%氰氟·吡啶酯乳油混剂 30 g/hm² + 15%噁唑酰草胺 150 g/hm² 对水喷施，2 ~ 3 d 后恢复浅水层。注意打药避开高温，同一处不可重复打药，以免产生药害。

3.5　收获贮藏

于 10 月下旬，稻谷处于黄熟至完熟阶段进行机械收获，若作种子收获前需进行人工去杂，至少 2 遍，收获时避免机械混杂，保证种子纯度达 99%以上。收获后机械烘干，使水分降至 15%，之后进行贮藏，保证环境干燥、整洁。

4　结语

金粳 882 产量高、品质优、抗性好，是一个值得信赖和推广的优质粳稻新品种。金粳 882 产业化开发将有助于解决淮北稻区生产上品种品质欠佳、抗病能力不强、易倒伏、产量潜力偏低等突出问题，进而培育出产量高、米质优、抗性好、适应性广的优质稻品种。优质新品种大面积的种植推广，不仅使企业能够获得较高利润，也能促使农民就业增收。产业化发展各方，包括种子供应商、生产方、加工方、销售方等一系列都将受益。好品种带来经济效益的同时，也会产生一定的社会效益：一是为培育“优质、抗病、高产”水稻新品种提供技术支持；二是有利于江苏省优化品种布局，促进优质水稻产业结构调整；三是有利于保持和扩大江苏粳稻新品种培育的技术创新优势，发展优质稻米生产，提升种业企业核心竞争力。

参考文献：

[1] 姜鸾义. 水稻优质高产高效栽培技术及病虫害绿色防控技术[J]. 种子科技,2023,41(12):61-63.

[2] 许建权,高春燕,郭　红,等. 优质丰产抗倒水稻新品种盐糯 20 的选育及高产栽培技术[J]. 农业科技通讯,2022(3):259-261.

[3] 苏建国,谈中英,陆建平,等. 优质水稻品种“常农粳 10 号”机插高产栽培技术及良种繁育技术要点[J]. 上海农业科技, 2020(1):41-42,54.

[4] 蔡晓平,冯明辉,朱孔志. 水稻新品种金香糯 1 号的选育及配套全程机械化优质高产栽培技术应用探析[J]. 江苏农机化,2022(4):15-19.

[5] 张　勇. 水稻高产栽培技术及病虫害防治[J]. 中南农业科技,2023,44(2):80-82.

[6] 冯明辉,顾　睿,朱孔志,等. 水稻新品种“金粳 858”的选育及其优质高产配套栽培技术[J]. 上海农业科技,2023(2):44-46.

Breeding of New High-yield and High-quality Variety Jingeng 882 and Its Supporting Cultivation Techniques

GU Rui, YANG Kai, ZHONG Qingzhao, SUN Yahong, PEI Haiyi, ZHOU Liangyu
(Jiangsu Golden Agriculture Co., Ltd., Yancheng 224100, China)

Abstract: Jingeng 882 is an excellent new variety of geng-rice independently selected by Jiangsu Golden Agriculture Co., Ltd. It is developed through years of targeted breeding using Suxiu 867 as the maternal parent and 12 fan 46 as the paternal parent through artificial hybridization and pedigree method. The average yield of the two-year regional trial of Jingeng 882 is 10 482.8 kg/hm^2, and the rice quality meets the national third level standard. It is moderately resistant to rice blast disease and stripe leaf blight. In summary, it has the advantages of high yield, high quality, strong resistance and wide adaptability. On the basis of introducing its breeding process and variety characteristics, this paper systematically summarizes the aspects of seedling cultivation, field planting, fertilizer and water management, disease and pest control, and harvesting. The purpose is to promote the wider application of Jingeng 882 and provide reference for the breeding and cultivation management of new geng rice varieties in the future.
Key Words: Jingeng 882; Breeding; Variety characteristics; Cultivation management

（上接第 64 页）

Effects of Compound Microbial Agents on Growth and Yield Factors of Huamai 1028

CAO Yuanyuan, WANG Xianru, CHEN Ci'e, ZHANG Ancun, LIU Qian, CAI Qiufeng, DING Wenkai
(Yancheng Institute of Breeding Institute, Jiangsu Dahua Seed Industry Group Co., Ltd., Yancheng 224235, China)

Abstract: In order to explore the effect of compound microbial agents on growth and yield structure of Huamai 1028. In this paper, through field experiment, four treatments were set up to explore the effects of only the compound microbial agents alone and compound microbial agents on the basis of conventional fertilization on growth period, plant height, overwintering seedlings, peak seedlings, spike formation rate, effective spike number, spike length, grain number per spike, thousand-grain weight and other field phenotypes and yield structure of Huamai 1028. The results showed that the yield of treatment 2 increased by 5.3% compared with CK, and the yield of treatment 3 increased by 15.1% compared with treatment 4. At the same time, overwintering seedlings, peak seedlings, spike formation rate, effective spike number, grain number per spike were significantly increased compared with the control. Under the treatment of no the application of conventional fertilizer and only the addition of compound microbial agents, the growth period of wheat was one day later than that of CK. Under the condition of normal fertilization, the growth period of adding biological agent was one day earlier. It can be seen that the compound microbial agent can improve the yield structure of wheat, increase the utilization rate of chemical fertilizer, and regulate the growth period.
Key Words: Compound microbial agent; Wheat; Yield; Field trait

刘　列,于亚雄,王志伟,等. 青贮大麦新品种云贮麦 1 号的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):71-75(2025-01-24). https:// doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.012.

青贮大麦新品种云贮麦 1 号的选育及栽培技术

刘　列[1],于亚雄[1],王志伟[1],段江华[2],乔祥梅[1],李锦秀[2],程加省[1],程　耿[1],黄廷芝[1],张炳英[2],王志龙[1*]
(1. 云南省农业科学院粮食作物研究所,云南 昆明 650205;2. 鹤庆县农业技术推广中心,云南 大理 671599)

摘要:云贮麦 1 号是云南省农业科学院粮食作物研究所与鹤庆县农业技术推广中心以云大麦 6 号为母本、云啤 7 号为父本进行杂交,利用系谱法联合选育的青贮专用大麦新品种。在连续 2 年的品种区域试验中,该品种平均鲜质量为 50 699.40 kg/hm^2,居第 1 位,比对照增产 19.27 %,增产极显著,丰产稳产性评价为“很好”;平均干质量为 17 831.1 kg/hm^2,居第 1 位,比对照增产 16.68 %,增产极显著。云贮麦 1 号表现为分蘖力强、叶片持绿性好、高产稳产、抗倒伏性好和适应性广等优点,于 2024 年通过国家农业农村部非主要农作物品种登记,登记编号:GPD 大麦(青稞)(2024)530008。该品种适宜在云南省海拔 1 000 ~ 2 400 m 秋冬播大麦种植地区种植。

关键词:云贮麦 1 号;青贮大麦;品质;栽培技术
中图分类号:S512.3;S359　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20240102

大麦具有耐逆性强和适应性广等特性[1],其籽粒可以作为传统优质饲料作物[2],同时全株都具有较高的饲用价值[3]。我国养殖业快速发展后,饲草饲料短缺等问题日益突出。国内很多学者陆续开展大麦青贮相关研究[4-5]及青贮专用品种筛选[6-8],在 2021 年出现可作青饲用的大麦品种通过国家品种登记[9],但饲用大麦育成品种在区域试验中仍以籽粒产量为评价标准,后续学者陆续从啤饲大麦中筛选出了在当地适宜做青贮的系列大麦品种[8],但一直没有以生物产量为评价标准的青贮专用品种通过登记。

云南省作为我国大麦种植主要省份之一[10],约 70%籽粒连同秸秆可整株粉碎用作动物饲料。云南省畜牧业发展迅速,据云南省农业农村厅资料显示,2022 年全省共有牛羊规模养殖场 8 096 个,青贮饲料缺口约 165.2 万 t,缺口达 26.6 %,冬春饲草储备明显不足。目前我国饲料资源普遍紧缺,制约了畜牧业的健康发展,大麦作为饲料具有独特的优势,不仅其籽粒可以作为传统优质饲料[11],同时大麦全株也具有较高的饲用价值[12]。大麦在灌浆期至乳熟期具有营养价值高、柔嫩多汁、气味芬芳、适口性好、易于消化等特点[13],适宜做青贮。近年来,养殖户也逐步将大麦在灌浆期收割制作青贮饲料以弥补青贮玉米短缺等问题,因此,选育和推广青贮专用大麦新品种,探索配套高产栽培技术,对保障云南省畜牧业的发展具有重要作用。云南省农业科学院粮食作物研究所联合省内大麦育种单位组织实施了云南省第 1 届青贮专用大麦区域试验,在国内首次以鲜草产量为评价指标进行青贮专用新品种适应性研究,其中云贮麦 1 号是云南省农业科学院粮食作物研究所和大理州鹤庆县农业技术推广中心以云大麦 6 号为母本、云啤 7 号为父本进行杂交,采用系统选育法育成的青贮专用大麦新品种,该品种于 2024 年通过国家非主要农作物品种登记,登记编号:GPD 大麦(青稞)(2024)530008。本文通过介绍其特征特性和栽培技术,为云贮麦 1 号的推广和应用提供依据。

1　云贮麦 1 号亲本来源与选育过程

1.1　亲本来源

母本云大麦 6 号是云南省农业科学院粮食作物研究所选育的啤酒大麦品种,表现为分蘖力强,株高中等,穗直立,于 2013 年通过云南省非主要农作物品种登记,登记编号:滇登记大麦 2013018 号;

收稿日期:2024-10-10;修回日期:2025-01-21。
基金项目:云南省财政重大专项(530000210000000013809);云南省重大科技专项(202102AE090014);云南省现代农业麦类产业技术体系(云农办科 2020-40)。
作者简介:刘　列(1994—),女,硕士,助理研究员,主要从事大麦新品种遗传与改良研究。Email: 1040486742@qq.com。
* 通信作者:王志龙(1988—),男,硕士,助理研究员,主要从事大麦新品种遗传与改良研究。Email: wzl@yaas.org.cn。

2020 年通过国家非主要农作物品种登记，登记编号：GPD 大麦（青稞）（2020）530015。父本云啤 7 号是云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所选育的啤酒大麦品种，表现为抗倒性强，于 2012 年通过云南省非主要农作物品种登记，登记编号：滇登记大麦 2012022 号。

1.2　选育过程

云贮麦 1 号是云南省农业科学院粮食作物研究所在 2011 年 2 月以云大麦 6 号为母本、云啤 7号为父本进行杂交；种植 F_1 混收混种至 F_3，之后进行单株选择至 F_5 性状稳定之后，进入初级产量鉴定，后经多点品比试验，表现优异，在 2021—2023 年参加云南省青贮大麦品种区域试验（编号：鹤青贮麦 22-1）并以产量第 1 名通过区域试验，其系谱和选育过程见图 1。

2011 年 2 月　云大麦 6 号 × 云啤 7 号
↓
2011—2012 年　F_1（编号：12BF1-1，混收）
↓
2012—2013 年　F_2（编号：13BF2-1，混收）
↓
2013—2014 年　F_3（编号：14BF3-6，选择优良单株）
↓
2014—2015 年　F_4（编号：15B3-11，选择优良单株）
↓
2015—2016 年　F_5（编号：16B3-2271，整行收获）
↓
2016—2017 年　F_6（编号：17BL1-101，产量初级鉴定）
↓
2017—2019 年　云南省多点品比试验[编号：18YD（二）-8]
↓
2019—2020 年　云南省啤酒大麦良种区域试验[编号：鹤 18YD（二）-8]
↓
2020—2021 年　在鹤庆进行青贮大麦试验及生产试验[编号：鹤 18YD（二）-8]
↓
2021—2023 年　云南省青贮大麦品种区域试验（编号：鹤青贮麦 22-1）
↓
2024 年　农业农村部非主要农作物品种登记（编号：云贮麦 1 号）

图 1　云贮麦 1 号选育系谱图

2　云贮麦 1 号品种特性

2.1　特征特性

云贮麦 1 号为二棱青贮专用大麦，幼苗直立，半冬性，植株高秆，平均株高 106.5 cm，生育期 148 d，株型紧凑，长芒，黄粒，平均单株分蘖数 4.0 个，分蘖力强，单株有效茎蘖数 3.2 个，穗粒数 25.8 粒 / 穗，平均穗长 8.2 cm，千粒质量 41.1 g，单株鲜质量 23.1 g，单株籽粒产量 3.39 g，单株绿叶数 4.8 片。籽粒饱满，熟相好，干草率 37.33%。品种丰产稳产性分析评价为“很好”。在近几年的种植推广和生产示范中，云贮麦 1 号表现为分蘖力强、株高高、叶片持绿性好、适应性广、产量潜力高等优点。

2.2　品质特性

2023 年经重庆卡文思检测技术有限公司对云贮麦 1 号植株干样进行品质检测，结果为含水量（质量分数，下同）8.4%，粗蛋白含量 14.88%，可溶性总糖含量 12.40%，酸性洗涤纤维含量 39.10%，中性洗涤纤维含量 53.10%，木质素含量 12.20%。

2.3　抗病性

2023 年经鹤庆县植保植检站对云贮麦 1 号进行抗性鉴定，结果为：抗条锈病和白粉病，高抗条纹病、黄矮病、根腐病，中抗赤霉病。

2.4　产量表现

由表 1 可知，在 2021—2023 年连续 2 个年度的云南省青贮专用大麦品种区域试验中，云贮麦

1号的平均鲜质量为 50 699.40 kg/hm²，居第 1 位，比对照增产 19.27 %，增产极显著，丰产稳产性评价为“很好”。由表 2 可知，在 2021—2023 年连续 2 个年度的区域试验中，云贮麦 1 号的平均干质量为 17 831.10 kg/hm²，居第 1 位，比对照增产 16.68 %，增产极显著。

表 1　云南省青贮专用大麦鲜质量

品种编号	品种名称	鲜质量 /（kg/hm²）	产量排名	比对照增产 /（kg/hm²）	增产率 / %	5%显著水平	1%极显著水平	丰产稳产性评价
1	云贮麦 1 号	50 699.40	1	8 190.60	19.27	a	A	很好
2	云青贮麦 22–1	47 422.05	2	4 913.25	11.56	b	B	好
3	丽紫大麦	46 831.05	3	4 322.25	10.17	b	BC	较好
4	保饲麦 19BJ–34	44 487.90	4	1 979.10	4.66	c	CD	一般
5	保饲麦 20–J22	44 236.80	5	1 728.00	4.07	c	CDE	一般
6	云青贮麦 22–3	42 687.75	6	178.95	0.42	cd	DEF	一般
7	V43（CK）	42 508.80	7	0	—	cd	DEF	一般
8	云青贮麦 22–2	41 459.25	8	–1 049.55	–2.47	d	EF	较差
9	云青贮麦 22–4	41 082.60	9	–1 426.20	–3.36	d	F	较差
10	云青贮麦 22–5	40 844.25	10	–1 664.55	–3.92	d	F	较差

注：表中小写字母表示差异具有统计学意义（$P<0.05$），大写字母表示差异具有高度统计学意义（$P<0.01$）。下同。

表 2　云南省青贮专用大麦干质量

序号	品种名称	干质量 /（kg/hm²）	产量排名	比对照增产 /（kg/hm²）	增产率 / %	5%显著水平	1%极显著水平	干草率 / %
1	云贮麦 1 号	17 831.10	1	2 549.25	16.68	a	A	37.33
2	云青贮麦 22–1	16 644.60	2	1 362.75	8.92	ab	AB	37.25
3	丽紫大麦	16 534.50	3	1 252.65	8.20	abc	AB	37.13
4	保饲麦 19BJ–34	16 023.00	4	741.15	4.85	bcd	AB	38.02
5	保饲麦 20–J22	15 425.70	5	143.85	0.94	bcd	ABC	37.30
6	云青贮麦 22–3	15 325.50	6	43.65	0.29	bcde	BC	38.42
7	V43（CK）	15 281.85	7	0	—	cde	BC	38.43
8	云青贮麦 22–2	14 925.90	8	–355.95	–2.33	cde	BC	38.07
9	云青贮麦 22–4	14 817.30	9	–464.55	–3.04	de	BC	37.96
10	云青贮麦 22–5	13 644.45	10	–1 637.40	–10.71	e	C	35.36

3　云贮麦 1 号栽培技术要点

3.1　适种区域

云贮麦 1 号适宜在云南省海拔 1 000 ~ 2 400 m 的秋冬播大麦种植区种植，如昆明、大理、丽江、楚雄、曲靖、保山等地。

3.2　播期与播种量

云南省的大麦种植区受季风气候影响，适宜的播种时间主要集中在秋季。云贮麦 1 号播期一般为 10 月中下旬至 11 月中旬，播种量为 180 ~ 225 kg/hm²。播期和播种量根据不同地区有所差异，根据具体的气候条件和土壤类型可进行适当调整，比如旱地可适当增加播种量，温度较低的地区也可适当提前播种。

3.3　田间管理

3.3.1　合理施肥。在播种前，施足底肥，并增施农家肥。施复合肥 300 kg/hm² 作种肥，后期可根据生长适时追肥。苗期随雨或浇水施氮肥，以便促进分蘖和

壮蘖的形成,利于高产。

3.3.2　科学灌水。大麦普遍喜湿但怕涝,因此在整个生长期都要做好浇水工作，干旱时及时浇水,遇到积水渍水时要做好排水工作。

3.3.3　适期除草。除草的最佳时期是在大麦 3 叶期至拔节期之间。根据田间杂草的种类、密度以及当地的气候条件等因素,选择高效、低毒、低残留的除草剂。

3.4　病虫害防治

病虫害防治要以预防为主,可结合药剂进行防治。抽穗后需注意蚜虫和白粉病的防治,白粉病发病初期，用 80%戊唑醇可湿性粉剂 5 000 倍液喷雾防治,播种前用粉锈宁拌种,可有效防治条锈病和白粉病等,田间出现蚜虫时,可用 10%吡虫啉可湿性粉剂 5 000 倍液及时均匀喷雾防治。

3.5　适时收获

在拔节期可进行刈割 1 ~ 2 次作饲喂青饲料,刈割留茬高度为 5 cm 以上;作青贮在灌浆期进行收割最佳,最迟在乳熟期麦芒变黄前收割,收获包括大麦穗在内的地上部植株,要求切割整齐,切割长度 2 ~ 3 cm,切碎进行密封青贮,田间留茬高度应大于 10 cm,不得把泥土带入青贮饲料,保证收割质量;若作为饲料大麦收获籽粒,则在完熟期收获。收获前应避免或减少雨淋,防止穗发芽,收获后及时晾晒,确保品质和效益。

4　云贮麦 1 号应用前景

近年来,随着云南省畜牧业快速发展,饲料供给保障问题日益突出。2022 年农业农村部发布《养殖场青贮饲料生产技术指导性意见》强调,青贮饲料是畜牧业特别是奶牛养殖的必备饲料,青贮玉米收储量不足,青贮饲料储备供应出现一定缺口。因地制宜选用高产高效的青贮饲料作物品种,避免使用口粮小麦品种，科学抓好田间管理和收储加工,提高青贮饲料产量和质量,充分满足牛羊养殖场青贮饲料的正常需求,保障奶类和牛羊肉供给。

云贮麦 1 号营养成分高、抗病性强且生物产量高,可极大程度地解决云南省冬春季节饲料不足的问题,大面积推广种植云贮麦 1 号将对云南省种植业产业结构调整具有重要意义,有利于促进云南省畜牧业健康持续发展。

参考文献:

[1] 王志龙,于亚雄. 云南大麦栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社,2022:78-100.

[2] 张　融,李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景[J]. 中国食物与营养,2015,21(7):27-31.

[3] 赵　准. 四种栽培措施对青贮大麦产量和品质的影响[D]. 石河子:石河子大学,2020:14-27.

[4] 包文龙,郑成忠,张腾薇,等. 施氮量对全株大麦生产性能及青贮品质的影响[J]. 草地学报,2023,31(10):3167-3173.

[5] 赵　准,齐军仓,李　剑,等. 播期对青贮大麦产量和青贮品质的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(2):227-233.

[6] 巫小建,俞慧明,曾凡荣,等. 二棱大麦浙皮 10 号青贮饲用营养品质分析[J]. 浙江农业科学,2020,61(9):1906-1907,1914.

[7] 李锦秀,张炳英,杨金华,等. 鹤庆县大麦生产现状及发展对策[J]. 现代农业科技,2022(21):59-62.

[8] 臧　慧,沈会权,张英虎,等. 青贮大麦新品种盐麦 7 号的选育及高产栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2022,39(6):67-70.

[9] 包奇军,潘永东,郭刚刚,等. 优质高产饲用大麦新品种:甘饲麦 1 号选育[J]. 大麦与谷类科学,2021,38(6):56-59.

[10] 刘　列,于亚雄,乔祥梅,等. 高蛋白大麦新品种云饲麦 406 的选育与栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2023,40(3):62-64.

[11] 曾亚文,普晓英,杜　娟,等. 云南专用大麦产业发展研究进展[J]. 大麦与谷类科学,2010(1):8-13.

[12] 顾颖慧,杨　青. 大麦的饲用价值与处理方法及其在饲料生产中应用的研究进展[J]. 饲料研究,2022,45(17):151-155.

[13] 赵加涛,刘猛道,郭勉艳,等. 不同密度和施氮量对“保大麦 25 号”鲜草和籽粒产量的影响[J]. 中国农学通报,2024,40(13):13-17.

Breeding and Cultivation Techniques of New Silage Barley Variety Yunzhumai No.1

LIU Lie[1], YU Yaxiong[1], WANG Zhiwei[1], DUAN Jianghua[2], QIAO Xiangmei[1], LI Jinxiu[2], CHENG Jiasheng[1], CHENG Geng[1], HUANG Tingzhi[1], ZHANG Bingying[2], WANG Zhilong[1]

(1. Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;
2. Agricultural Technology Extension Center of Heqing County, Dali 671599, China)

Abstract: Yunzhumai 1 is a new type of forage barley variety specifically developed for silage through hybridization of Yundamai No.6 as the maternal parent and Yunpi No.7 as the paternal parent by Grain Crops Research Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences and Agricultural Technology Extension Center of Heqing County, using pedigree selection. In the two consecutive years of variety regional trials, the average fresh weight of this variety was 50 699.40 kg/hm^2, ranking first, with a highly significant increase of 19.27% compared to the control, and the evaluation of high-yield stability was "very good". The average dry weight was 17 831.1 kg/hm^2, also ranking first, with a highly significant increase of 16.68% compared to the control. Yunzhumai No.1 has strong tillering ability, good leaf retention, high-yield stability, good lodging resistance, and wide adaptability. It was registered by Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China in 2024 for non-major crop varieties, with the registration number of GPD Barley (Qingke) (2024) 530008. This variety is suitable for cultivation in autumn and winter barley-growing areas at altitudes of 1 000 to 2 400 meters in Yunnan Province.

Key Words: Yunzhumai No.1; Silage barley; Quality; Cultivation technique

本刊加入有关数据库的特别声明

为了适应我国期刊信息化建设的需要和扩大作者学术交流渠道，实现期刊编辑、出版工作的网络化与数字化，提高作者所发表论文的被引频次与影响力，本刊已加入《中国学术期刊（光盘）》、"中国期刊网""万方数据—数字化期刊群"、重庆维普"中文期刊数据库"、超星期刊"域出版"平台和国家科技学术期刊开放平台等。作者无需另外支付网络编审费。作者著作权使用费与本刊稿酬由本刊编辑部一次性给付作者。如作者不同意编入上述数据库，请务必提供书面说明。所刊载文献被以各种形式转载时请注明来源于本刊。

《大麦与谷类科学》杂志编辑部

本刊常用计量单位符号简介

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定，根据中华人民共和国"量和单位"系列国家标准（GB3100—1993、GB/T3101—1993 和 GB/T3102.1~3102.13—1993），现将本刊常用的计量单位符号介绍如下，希广大作者遵照执行。

时间：日(天)—d；表格中(月 / 日)应用(月 - 日)，如 2/30 应用 02-30；时—h；分—min；秒—s。质量：吨—t；公斤(千克)—kg；克—g；毫克—mg；微克—μg；纳克—ng。体积：升—L；毫升—mL；微升—μL。浓度：通常指物质的量浓度，克分子浓度(M)废用，改为 mol/L；当量浓度(N)废用，换算成相应的 mol/L；质量浓度单位为 kg/L；质量摩尔浓度单位为 mol/kg；ppm 换算为相应的 mg/kg（质量分数）、μL/L（体积分数）、μmol/mol（摩尔分数）等。面积：亩—667 m^2，万亩换算为万 hm^2 等。

李鹏飞,高一博. 粳型常规糯稻华糯 162 的选育及其配套栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(1):76-80(2025-02-20). https:// doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.01.013.

粳型常规糯稻华糯 162 的选育及其配套栽培技术

李鹏飞,高一博
(江苏大华种业集团有限公司,江苏 南京 210002)

摘要:华糯 162 是江苏大华种业集团有限公司以连糯 2 号为母本,与盐丰 47 组配进行杂交选育而成的粳型常规糯稻新品种(审定编号:皖审稻 2023T017)。该品种具有高产、稳产性强的特点,适宜在安徽省中粳稻区推广种植。华糯 162 在区域试验和生产试验中表现良好,2020 和 2021 年区域试验中平均产量分别为 672.2、655.4 kg/667 m^2,较对照分别增产 9.75%、9.02%;2022 年生产试验中,其平均产量为 584.1 kg/667 m^2,较对照增产 5.16%。华糯 162 表现出较强的抗病性,尤其对稻瘟病和白叶枯病具有一定的抗性。同时,该品种稻米品质较为优良,适合加工食品使用。为确保该品种在实际栽培中的高效生产,总结了华糯 162 的选育过程、品种特性及其配套的栽培技术,提出了适宜的栽培管理措施,以期促进华糯 162 的推广应用。

关键词:华糯 162;粳型糯稻;育种;栽培技术
中图分类号:S511.2+2　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1673-6486-20250012

在全球粮食体系中,水稻(*Oryza sativa* L.)占据关键地位,它供养着超过半数的世界人口,对维系全球粮食安全起着极为重要的作用[1-3]。常规稻具备自然留种的特性,其子代遗传性状稳定[4]。与主要依赖优势基因组合的杂交稻不同,常规稻育种基于自然变异与传统遗传重组方式,尽管该方式较为传统,但常规稻品种在遗传稳定性和广泛适应性方面具有显著优势,在现代农业生产中依然发挥重要作用,为粮食安全与作物多样性提供了有力保障[5]。糯稻的胚乳淀粉以支链淀粉为主,这使得它外观晶莹、口感软糯,与普通水稻差异明显。依据遗传背景和形态特征,糯稻可分为粳糯稻和籼糯稻,在我国南北各地广泛种植[6-7]。因具独特的理化性质,糯稻在食品加工及酿酒行业中应用广泛,极大地丰富了我国饮食文化内涵,在日常生活和产业发展方面均有着重要意义[8-10]。华糯 162 是江苏大华种业集团有限公司以连糯 2 号作母本,与盐丰 47 组配育成的粳型常规糯稻新品种[11-12]。该品种产量高、稳产性强,适宜在安徽省中粳稻区推广种植,同时需要注意防治稻瘟病、稻曲病等病害。通过总结华糯 162 的选育过程、品种特性及配套的栽培技术,旨在形成一套完整、成熟的栽培技术方案,这不仅能够帮助农户更好地理解该品种的生长特性和栽培要求,还能提供一套科学的栽培管理措施,确保在实际种植中获得高产与稳产。通过这一技术方案的推广,期望能够在更广泛的区域内实现华糯 162 的应用推广。

收稿日期:2025-01-20;修回日期:2025-02-14。
作者简介:李鹏飞(1986—),硕士,农艺师,主要从事水稻和小麦的育种工作。Email: lpfxxx@163.com。

1　华糯 162 亲本来源及选育过程

1.1　亲本来源

亲本盐丰 47 是辽宁省盐碱地利用研究所以粳型不育系 AB005S 转育的若干个不育系材料为母本,以丰锦、辽粳 5 号、秋光等上百个材料为父本,经混合播种、自然授粉系谱选育而来的粳型常规水稻,2006 年通过国家农作物品种审定委员审定(国审稻 2006068)[1]。盐丰 47 产量高、米质优良、抗倒伏、耐盐碱和抗干旱[1-2]。亲本连糯 2 号是由江苏大华种业集团有限公司选育的粳型常规糯稻品种,具有高产、优质、抗病性强、适应性广等特点,能够在多种生态条件下稳定生长,为育成高产优质稻种提供了良好的遗传基础。

1.2　选育过程

2009 年夏季用连糯 2 号作母本、盐丰 47 作父本进行杂交(图 1)。经多年的海南加代繁种、选择单株、优良株系种植、抗病鉴定、株系比较和多点品种比较试验,该品种于 2017、2018 年在安徽安排多点试验(图 1),在蚌埠、宿州、阜阳、淮南、滁州、马鞍

山、芜湖、安庆、南陵的 2 年试验中，叶瘟和穗颈瘟发病轻，白叶枯病和纹枯病未发，倒伏程度为直，全生育期为 146.7 d，2018 年水稻植株的叶瘟和穗颈瘟发病轻，白叶枯病和纹枯病未发，倒伏程度为直，全生育期为 147.1 d，2 年华糯 162 的糙米率平均为 83.8%，精米率平均为 73.3%，整精米率平均为 68.9%，籽粒长宽比为 1.85。2019 年参加安徽水稻品种比较试验（中粳早熟组）。2020 和 2021 年参加安徽省稻区区域试验。2022 年参加生产试验。2023 年通过安徽省农作物品种审定委员会审定（审定编号：皖审稻 2023T017）。

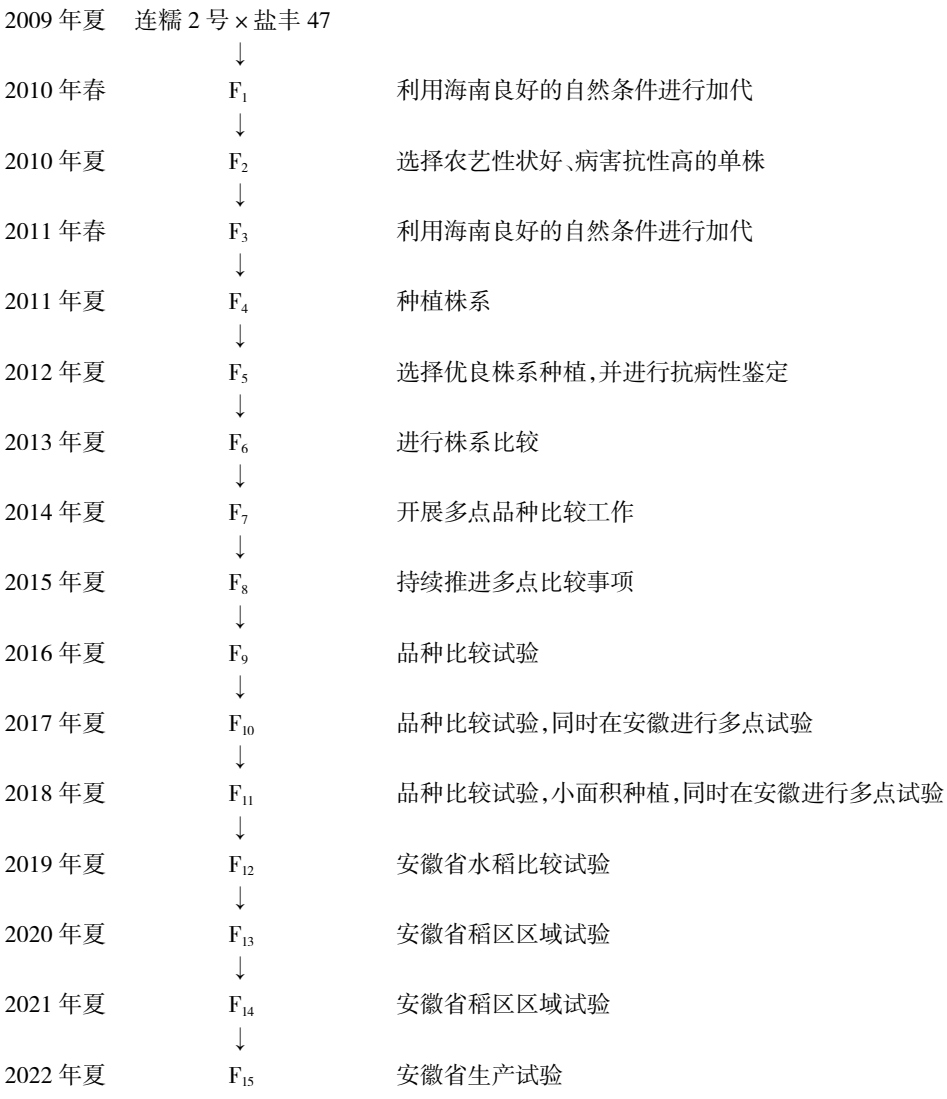


图 1　华糯 162 的选育过程

2　华糯 162 主要特征特性

2.1　农艺性状

华糯 162 属中粳常规水稻品种，该品种全生育期 146.9 d，株高 97.3 cm，叶色淡绿，株型紧凑，抗倒伏，分蘖力中等偏强，适宜穗数 20 万 ~ 23 万个 /667 m²，每穗总粒数 140 粒左右，结实率 90%，千粒质量为 27.3 g。

2.2　产量表现

2019 年安徽省水稻品种比较试验（中粳早熟组）结果表明，华糯 162 在安庆、当涂、滁洲、凤台、合肥、怀远的平均产量为 697.8 kg/667 m²，变异系数 10.0%，比对照武运粳 27 增产 8.65%（表 1）。2020—2021 年安徽省稻区区域试验结果表明，2020 年华糯 162 的区域试验平均产量为 672.2 kg/667 m²，比武运粳 27（对照品种）增产 9.75%；2021 年华糯 162

的区域试验平均产量为 655.4 kg/667 m^2，比武运粳 27(对照品种)增产 9.02%;2022 年的生产试验结果表明,华糯 162 的平均产量为 584.1 kg/667 m^2,比对照品种增产 5.16%(表 2)。

2.3 稻米品质

2019 年安徽省中粳品比试验稻米品质测试结果表明,华糯 162 的糙米率为 84.3%,精米率 75.0%,整精米率 57.9%,碱消值 6.0 级,胶稠度 93 mm,直链淀粉质量分数 2.6%,粒长 4.6 mm,长宽比 1.8,透明度 1 级,米质等级为普通(表 3)。2020 和 2021 年经安徽省稻米及制品检测中心检验,华糯 162 的米质均为 GB/T 1354—2018《大米》2 级。

表 1　2019 年华糯 162 在安徽省水稻品种比较试验(中粳早熟组)中的表现

地区	产量 /(kg/667 m^2)	较对照增产 /%
安庆	572.50	8.02
当涂	743.75	15.09
滁洲	676.75	1.05
凤台	762.00	1.20
合肥	690.56	19.90
怀远	741.25	6.62
平均	697.80	8.65

表 2　2020—2022 年华糯 162 在安徽省区域试验和生产试验中的表现

地区	2020 年区域试验		2021 年区域试验		2022 年生产试验	
	产量 /(kg/667 m^2)	较对照增 /%	产量 /(kg/667 m^2)	较对照增 /%	产量 /(kg/667 m^2)	较对照增 /%
安庆	669.1	8.61	647.3	7.21	584.6	7.33
当涂	666.3	7.71	661.1	10.50	590.7	5.47
滁洲	683.4	11.39	667.7	12.16	580.5	4.01
凤台	674.1	10.10	648.1	7.81	584.9	4.21
合肥	673.0	10.62	650.1	7.67	585.3	5.32
怀远	667.6	10.08	658.3	8.74	578.8	4.62
平均	672.2	9.75	655.4	9.02	584.1	5.16

表 3　华糯 162 稻米品质分析

年份	国标等级	糙米率 /%	精米率 /%	整精米率 /%	粒长 /mm	长宽比	直链淀粉质量分数 /%	胶稠度 /mm	碱消值 /级	透明度 /级
2019	普通	84.3	75.0	57.9	4.6	1.8	2.6	93	6.0	1

2.4 抗病性

2019 年安徽省农业科学院植物保护研究所抗病性鉴定结果(表 4)表明,华糯 162 对稻瘟病表现为中感(MS,5 级),综合抗病指数 4.5;对稻曲病表现为中抗(MR,3 级),病穗率 3.8%;对白叶枯病表现为中抗(MR,3 级)。2020 年经安徽省农业科学院植物保护研究所抗性鉴定,华糯 162 对稻瘟病表现为中感(MS,5 级),综合抗病指数 6.0;中抗稻曲病(MR,3 级),病穗率 3.1%;中抗白叶枯病(MR,3 级);2021 年华糯 162 中感稻瘟病 (MS,5 级),综合抗病指数 6.0[新标准:综合抗指 4.8,穗瘟损失率 7 级(损失率 38.4%)],中感稻曲病,病穗率 21.0%;中抗白叶枯病(MR,3 级)。

表 4　华糯 162 的抗病性鉴定结果

年份	稻瘟病		稻曲病		白叶枯病	
	损失率最高级 / 级	综合指数	抗病水平	病穗率 /%	抗病水平	抗病等级 / 级
2019	5	4.5	MR	3.8	MR	3
2020	5	6.0	MR	3.1	MR	3
2021	5	6.0	MS	21.0	MR	3

注：HR—高抗，R—抗病，MR—中抗，MS—中感，S—感病，HS—高感。稻瘟病抗性综合指数评价分级标准：0 级，综合指数 < 0.1，HR；1 级，综合指数：0.1 ~ 2.0，R；3 级，综合指数：2.1 ~ 4.0，MR；5 级，综合指数：4.1 ~ 6.0，MS；7 级，综合指数：6.1 ~ 7.5，S；9 级，综合指数：7.6 ~ 9.0，HS。水稻稻曲病病穗率评价分级标准：0 级，病穗率≤1%，高抗，HR；1 级，病穗率 1.1% ~ 3.0%，抗，R；3 级，病穗率 3.1% ~ 10.0%，中抗，MR；5 级，病穗率 10.1% ~ 20.0%，中感，MS；7 级，病穗率 20.1% ~ 49.9%，感，S；9 级，病穗率≥50%，高感，HS。水稻白叶枯病分级标准：0 级，无病斑，HR；1 级，病斑 < 3 cm，R；3 级，病斑 3 cm 及以上，MR；5 级，病斑占 1/2 左右，MS；7 级，病斑占 3/4 左右，S；9 级，全叶发病，HS。

3　华糯 162 高产栽培技术要点

3.1　适时和适量播种

人工栽秧通常在 5 月上旬至中旬落谷，此时育秧的播种量一般为 25 ~ 30 kg/667 m²；若采用旱育秧方式，播种量则需增加至 35 ~ 40 kg/667 m²。相比之下，机插秧的播种方式有所不同，每 4 个秧盘的播种量约为 0.5 kg，其播期一般安排在 5 月中下旬。

3.2　适时早栽

在 6 月上旬之后及时开展整地工作，并迅速进行移栽。在此过程中，需严格控制秧龄，人工移栽的秧龄不得超过 35 d，而机插秧的秧龄则应控制在 25 d 以内，以避免秧苗老化，确保其生长活力。移栽密度同样关键，大田的移栽穴数应达到 1 万穴 /667 m² 以上，且每穴应保证 2 ~ 3 株秧苗，从而为水稻的健壮生长和高产丰收提供坚实基础。

3.3　合理施肥

首先要施足基肥，为秧苗生长提供充足的养分基础。当秧苗生长至 1 叶 1 心期时，需尽早施加断奶肥，助力秧苗顺利度过这一关键生长阶段；到了 3 叶期，则要及时施促蘖肥，促进秧苗分蘖，增加有效分蘖数量。而在移栽前的 2 ~ 3 d，还要妥善施好送嫁肥，通过这样阶段性且合理的施肥安排，来培育出适龄且带有分蘖的壮秧。

从水稻整个生育期的肥料运筹来讲，生育前期（涵盖基肥以及前期分蘖肥）的施氮量应当占总施氮量的 60% ~ 70%，为前期生长提供充足的氮素，促使秧苗茁壮成长、分蘖繁茂。到了生育中后期，穗肥（具体包括促花肥和保花肥）施氮量需占总施氮量的 30% ~ 40%，其中，在倒 2 叶露尖时施好保花肥尤为关键，这对于保障水稻穗部发育、提高穗粒数和结实率意义重大。此外，田地的施氮量要控制在 17 ~ 20 kg/667 m²，而且要注重增施磷、钾肥，按照科学合理的比例搭配氮、磷、钾肥，全方位满足水稻不同生长阶段对各类养分的需求，保障水稻健康生长、稳产高产。

3.4　适时灌溉

为确保水稻生长良好，水浆管理需科学合理，避免因缺水或水分过多而对水稻造成不良影响。在栽插时，应采用浅水浅栽的方式，以利于秧苗的顺利生长。栽插完成后，需灌入浅水，水层深度控制在 2 ~ 3 cm，以促进秧苗快速返青。分蘖期应以浅水灌溉为主，水深维持在 2 cm 左右，并实行干湿交替灌溉，防止水分过多过深，以免抑制秧苗根系发展和分蘖。当田间茎蘖数达到目标穗数的 80% ~ 90%时，应开始排水晒田，以控制无效分蘖和基部节间伸长。幼穗分化期至抽穗扬花期，水稻需水量增加，应保持 3 ~ 5 cm 的浅水层。破口抽穗前适当排水轻搁 1 次，可增强根系活力，促进抽穗整齐。灌浆至成熟期，应采用间歇灌溉，保持干湿交替。收获前 7 ~ 10 d，根据天气和田间湿度情况确定断水时间。断水过早会导致缺水，引起早衰，影响籽粒灌浆；断水过迟则会使田间过烂，影响机械收割。

3.5　综合防治病、虫、草害

在水稻种植过程中，需综合防治病虫害与草害以保障生产安全和丰产丰收。播种前采用药剂浸种预防恶苗病与干尖线虫病，秧田期防治灰飞虱、蚜虫、稻蓟马，移栽后及时施用除草剂，大田期重点防治二代二化螟、三代纵卷叶螟及纹枯病、白叶枯病，后期注意防治褐飞虱、白背飞虱，破口期遇雨防治

穗颈瘟病及稻曲病。草害防治遵循“一封、二杀、三补”策略，播种后进行土壤封闭处理，秧苗 2 叶期左右实施茎叶除草，5 叶期后根据草相补除杂草，同时结合合理耕作管理，确保田间杂草得到有效控制。

4　小结

华糯 162 是具有显著优势的粳型常规糯稻新品种，在多点生态试验和区域试验中，产量均比对照品种提升 4.01%～19.90%，具有高产稳产的特点。稻米品质优良，糙米率、精米率和整精米率高，直链淀粉含量低，适合加工食品使用。此外，华糯 162 对稻瘟病表现为中感，对白叶枯病表现为中抗，具有较强的抗病性。然而，该品种对稻瘟病和稻曲病的抗性在不同年份和环境条件下存在波动，生育期较长，需注意病害防治并合理安排种植时间，以确保产量和品质。总体而言，华糯 162 在安徽省中粳稻区具有广阔的应用前景，可作为当地水稻高效生产的良种。

参考文献:

[1] 李丰三. 绿色水稻科学施肥技术措施[J]. 农业开发与装备,2019(7):203,226.
[2] 胡建荣. 水稻绿色高产栽培技术及其推广措施分析[J]. 种子科技,2023,41(8):54–56.
[3] 赵　灿,刘光明,戴其根,等. 氮肥对水稻产量、品质和氮利用效率的影响研究进展[J]. 中国稻米,2022,28(1):48–52,57.
[4] 滕晓龙,邓伟明,孙毛毛,等. 轻型栽培和秸秆还田对水稻产量和根系特征的影响[J]. 江西农业学报,2014,26(6):1–7.
[5] 彭少兵. 转型时期杂交水稻的困境与出路[J]. 作物学报,2016,42(3):313–319.
[6] 杨筑慧. 文明与互鉴:“糯稻文化圈”及其变迁管窥[J]. 中央民族大学学报(哲学社会科学版),2021,48(6):60–72.
[7] 邢运高,刘　艳,李　健,等. 粳糯稻抗稻瘟病基因检测与品种抗性鉴定[J]. 核农学报,2023,37(11):2134–2142.
[8] 朱　军,朱自忠,李　平. 中国糯稻遗传育种研究进展[J]. 杂交水稻,2021,36(1):1–8.
[9] 周坤能,夏加发,张彩娟,等. 安徽省水稻地方品种资源鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报,2023,24(1):137–148.
[10] 李栋梁,李小刚,顾蕴洁,等. 不同类型水稻品种胚乳发育的研究[J]. 中国农业科学,2014,47(19):3757–3768.
[11] 李继开,李振宇. 盐丰 47 选育技术报告[J]. 作物研究,2007,21(3):277–279.
[12] 庞志洁,付立东,孙久红,等. 超级稻盐丰 47 配套栽培技术[J]. 北方水稻,2009,39(3):75–76.

Breeding and Supporting Cultivation Techniques of Conventional Glutinous Geng-rice Variety Huanuo 162

LI Pengfei, GAO Yibo
(Jiangsu Dahua Seed Industry Group Co., Ltd., Nanjing 210002, China)

Abstract: Huanuo 162, a new conventional glutinous geng-rice variety, was bred by Jiangsu Dahua Seed Industry Group Co., Ltd. via crossbreeding with Liannuo No.2 as the maternal parent and Yanfeng 47 as the paternal parent (approval number: Wanshendao 2023T017). It features high and stable yields and is suitable for being popularized and planted in the medium geng-rice regions of Anhui Province. Huanuo 162 has demonstrated excellent performance in both regional and production trials. In the regional trials of 2020 and 2021, its average yields were 672.2 kg/667 m^2 and 655.4 kg/667 m^2 respectively, showing an increase of 9.75% and 9.02% compared to the control. In the 2022 production trial, the average yield reached 584.1 kg/667 m^2, with a 5.16% increase compared to the control. Moreover, Huanuo 162 exhibits strong disease resistance, particularly to rice blast and bacterial blight. Additionally, the rice quality of this variety is rather fine and suitable for processing and food applications. To guarantee its efficient production in actual cultivation, the breeding process, varietal characteristics, and supporting cultivation techniques of Huanuo 162 have been investigated and summarized, and appropriate cultivation and management measures have been put forward, in order to promote the popularization and application of Huanuo162.

Key Words: Huanuo 162; glutinous geng-rice; Breeding; Cultivation technique