



孙羽,曾宪楠,王麒,等.水稻倒伏影响因素及解决策略研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(9):132-136,137.

水稻倒伏影响因素及解决策略研究进展

孙羽¹,曾宪楠¹,王麒¹,宋秋来¹,王曼力¹,李希臣¹,冯延江²

(1.黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2.黑龙江省农业科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154026)

摘要:倒伏普遍存在于水稻生产中,导致水稻产量降低、品质下降,是影响水稻产业进一步发展的主要瓶颈问题。为了解水稻倒伏的研究现状,对国内外有关文献进行分析汇总,得出水稻倒伏的影响因素有很多,包括遗传特性、植株形态在内的内在因素,以及自然条件、耕作栽培条件和措施等外在因素,都会导致水稻不同程度地倒伏。水稻倒伏会直接导致产量和品质发生改变,降低产量并显著影响稻米品质,进而影响水稻产业。提高水稻抗倒伏能力需要综合施策,结合水稻生产需求和实际问题,提出以良种良田良机相结合,综合应对水稻倒伏问题。

关键词:水稻;倒伏;影响因素;措施

倒伏一直以来都是禾谷类农作物种植和生产的一个主要障碍,既会降低籽粒产量和质量,也会造成收割困难。水稻的倒伏是水稻生产中比较常见的问题,同时破坏性也很大,通常在水稻灌浆期及扬花期之后的生长期出现^[1],植株茎秆中的淀粉自水稻抽穗 21 d 起不断流失,导致水稻茎秆缺乏支撑,抗折力严重下降,在籽粒灌浆的中后期,就可能出现倒伏^[2]。发生倒伏时,水稻产量受到较大影响,一般来讲,倒伏的发生时间越早,发生程度越严重,产量的损失也越大^[3-5]。通过水稻茎秆倒伏位置进行区分,倒伏可分为两类。第一类是根倒伏,即始于根际的全株性平地倒伏,也就是平常所说的连根拔起,但此现象在水稻中并不常见,所以对水稻根部倒伏的研究不多见。第二类是茎倒伏,即稻株根部以上的茎秆发生弯折或折断,这一类现象普遍存在于水稻中,茎倒伏多发生在基部第 1 和第 2 节间^[6-8],已经成为制约水稻生产进一步发展的因素,究其原因,主要是由于水稻品种特性、耕作及栽培条件和自然气候等因素交织而引起的。因此,选择优良的耕种条件、培育抗倒伏品种、采用具有针对性的栽培方法,将有利于提高水稻的抗倒伏性。通过系统分析影响水稻倒伏的影响因子,总结抗倒伏评价方法,提出降

低倒伏的可操作性措施,以期为抗倒伏水稻的品种选育以及栽培模式提供参考。

1 影响水稻倒伏的因素

1.1 影响水稻倒伏的内在因素

1.1.1 遗传特性是影响水稻倒伏的主要内在因素 不同种类的水稻品种之间呈现出不同的抗倒伏性,主要在于遗传因素的影响。吴泽芳等^[9]对 33 份水稻材料倒伏指数进行测量分析,14 份材料倒伏指数低于 10,抗倒伏能力强。申广勒等^[10]通过指数聚类分析,将 51 份水稻品种倒伏分为普通型、倒伏型和高抗倒型三类,其中高抗类型的品种有 9 个。

通过分子标记辅助育种,可以更精准地实现水稻抗倒伏种质资源的筛选,充分挖掘抗倒伏品种相关性状。遗传改良能够从根本上改善水稻自身的抗倒性,有关的 QTLs 的精确定位或是基因克隆为研究水稻抗病栽培技术提供了新的工具。水稻的抗倒伏性不仅会受到显性、上位性和基因加性的影响,同时基因和环境的互作效应也会显著影响水稻的抗倒伏性,从而形成非常复杂的数量性状遗传特征^[11]。众多学者利用水稻全植株、茎秆以及水稻根部有关基因或 QTL 进行了定位分析。肖应辉等^[12]利用粳/籼//Nipponbare 等回交重组自交系群体,检测 98 个株系组成的水稻,发现与倒伏指数有关的 4 个 QTL,分别位于第 1、第 3、第 8 和第 12 染色体上。王小虎等^[13]以粳交窄京系 17/叶青 8 号的 DH 群体为材料群体,共检测到与抗倒伏相关的根系性状 QTLs 8 个,其中与单蘖直茎、根基粗、根冠比等相关的 QTL 各 1 个,分别位于第 1、第 7 和第 8 染色体上。与总根数、最大根长、根干重相关的 QTL 各 2 个,在染色

收稿日期:2023-02-25

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF-2023-1-B015);黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(CX23ZD01);黑龙江省重点研发专项(GA21B002);黑龙江省水稻现代农业产业技术协同创新体系。

第一作者:孙羽(1980—),女,博士,研究员,从事水稻栽培生理及育种研究。E-mail:syfx19801979@163.com。

通信作者:冯延江(1972—),男,博士,研究员,从事作物栽培、育种研究。E-mail:zixuanfeng2008@163.com。

体上的位置分别是第 1 和第 2、第 1 和第 6、第 1 和第 12。Yano 等^[14]提出品系中聚合有 SCM2 和 SCM 的植株,从茎秆强度看,要比仅含有 SCM2 或 SCM3 的品系茎秆强度更强。

这说明,在选育水稻抗倒伏品种时,要注重多基因聚合育种技术以及分子标记辅助育种技术的运用,为水稻植株聚合具有不同功效的基因^[15]。

1.1.2 植株形态是影响水稻倒伏的决定性内在因素 株高是影响水稻抗倒伏的决定性因素之一,一直以来也是水稻倒伏研究的重点。多数研究表明,水稻抗倒伏能力与株高成反比的关系,株高越高,水稻抗倒伏性越弱^[15-18]。但是也有一些研究表明株高与植株倒伏没有直接关系,株高不会造成植株倒伏,水稻茎秆长度和茎秆抗折力矩之间没有紧密的关联和显著的相关^[19]。植株太矮会大大影响生物产量使水稻植株生物产量明显下降,改善水稻植株的株高可以使水稻的生物学产量明显增加。

适当增加株高可以大幅度增加水稻的生物学产量,同时水稻种群通风情况以及透光状态也会发生很大的改变,因此实现保证收获指数的前提下增加水稻的产量^[20]。同时水稻矮化育种在一定程度上解决了水稻高产和抗倒之间的矛盾。降低第一伸长节间和第二伸长节间的长度,通过加强基部物理性状改良水稻植株茎秆的强度,穗位下降,穗长变长,穗颈长度增加,提高水稻植株抗倒伏能力。实现水稻的倒伏和株高与生物产量间的矛盾在更高水平得到统一^[21]。

穗型是水稻重要的农艺性状,按照其弯曲程度可以分为直立穗、半直立穗和弯曲穗^[22],按照穗型的大小、粒数和穗重又可分为重穗型、中穗型和轻穗型^[23]。不同穗型对水稻倒伏程度的影响是不同的。重穗型品种的特征是单穗重和株高增加,带来弯曲力矩加大,但抗折力也因此明显提高,从而使其茎秆抗倒伏能力并未降低^[24]。不同穗型的品种钵苗机插水稻基部节间 N1、N2、N3 抗折力和弯曲力矩随着密度降低而增加,倒伏指数呈下降趋势,抗倒伏能力加强^[25-26]。通过水稻茎秆的解剖结构可以看到,厚壁组织发达程度会显著影响茎秆物理性质,髓腔大小和维管束数目也会引起同样的影响。厚壁细胞的层数、细胞壁的厚度以及维管束数目发达程度会直接导致植株的抗弯折断力发生变化,呈正向相关^[27-28]。从茎秆化学物质组成看,纤维素、半纤维素和木质素对茎秆的机械强度起基础性作用,纤维素、半纤维素和木质素在茎秆中含量的增加会提高茎秆强度。水稻中纤维素含量下降茎秆细胞壁疏松引起机械

强度下降^[29],木质素合成关键酶肉桂醇脱氢酶突变会导致茎秆木质素含量减少,机械强度降低^[30]。

1.2 影响水稻倒伏的外在因素

1.2.1 风和雨是影响水稻倒伏的主要自然条件

环境因素中对水稻倒伏性状影响最大的是风和雨。当在外界风雨和自身重力的作用下会引起致倒力矩,水稻茎秆的弹性和韧性等因素引起抗倒力矩,是否发生倒伏取决于两者之间的博弈关系。当外力引起的致倒力矩大于植株抗倒力矩时,即发生倒伏,反之则不倒^[31]。2012 年由于受“布拉万”台风的严重影响,黑龙江省佳木斯市水稻倒伏达到 30%,严重的地块倒伏超过 50%,导致减产 15%~20%,品质变差,收割困难^[32]。2013 年受台风“菲特”暴雨影响,浙江省台州市水稻倒伏,产量损失达 29.30%^[33]。李小坤等^[34]大田试验研究表明,选取的 18 个水稻品种,在强降雨致洪涝灾害条件下,14 个品种发生倒伏。当洪涝灾害发生时,倒伏已成为影响水稻产量最重要的因子,大雨导致的水稻倒伏造成的减产往往达 50%以上。温室对水稻倒伏也存在影响,通过 FACE 系统研究发现,利用模拟未来水稻生产的试验中,随着土壤温度的增加会引起水稻植株的基部节间部分变长,从而增加倒伏发生的风险^[35]。

1.2.2 耕作栽培条件和措施是影响水稻倒伏的重要外在因素 根系长势与土壤质地、耕作层的厚度关系密切,土壤耕作层太浅、有机质含量低、土壤沙化易导致水稻根部生长环境恶化,致使水稻根系长势差,地上部支持力弱,易引起倒伏^[36]。

淹水深度和淹水时间对水稻形态的影响表明,分蘖期、拔节期和抽穗期淹涝 3 d 后出现根倒伏、茎倒伏与根茎倒伏并存,根倒伏是乳熟期的主要现象^[37-38]。与传统淹灌相比,节水灌溉技术可以明显提高水稻茎粗、增加茎秆壁厚、茎秆横截面积、第一节间和第二节间丰满度、弯曲力和弯曲力矩,可显著提高稻株的抗倒伏能力^[39]。

肥料施用不当是导致水稻倒伏的主要因素之一。过度施肥导致水稻生长过于旺盛,容易造成大面积倒伏。氮肥施用水平和氮肥运筹均会影响水稻抗倒伏能力,基肥氮肥或前期氮肥施用过多会增加无效分蘖,植株变弱。氮肥水平或氮肥与穗肥比例的增加,会降低直播杂交稻的断茎弯矩、截面系数、弯曲应力、第四节间直径、茎秆碳水化合物含量和钾含量。施氮水平的增加还伴随着节间伸长、株高、茎重心高度和倒伏指数的增加,导致倒伏风险增大^[40]。调整分蘖基肥和穗粒基肥施用比例可以缩短寒地粳稻基部节间,增加水稻茎粗和茎壁厚度,从而改善茎部物理性状,使水稻抗

折性显著增强,表现出较高的抗倒伏能力^[41]。

插秧密度是影响水稻倒伏的重要因素之一。当密度过大即单位面积过多的插秧穴数或穴苗数,将导致水稻植株之间的资源分配发生变化,个体间竞争水、肥、光、气、热将造成早期群体过快生长,植株发育情况不充分,茎秆薄且弱,单位节间重也表现为降低,基部节间异常伸长。过于充足的水分使植株形态学和解剖学特征发生变化,细胞质丰富而壁薄,茎秆强度降低,茎秆抗折断力变小。

2 水稻倒伏对水稻的影响

2.1 倒伏对水稻产量的影响

通过模拟试验发现一些水稻品种倒伏会对产量的影响高达 80%,特别是由风雨等自然现象引起的严重倒伏可使水稻的产量降低 50%^[1-3]。李文熙^[4]研究表明,发生在乳熟期、蜡熟期与黄熟期的水稻倒伏,分别会导致产量下降 34%、21%和 20%,严重的甚至绝收。郎有忠等^[5]研究表明在结实期进行到一半时倒伏,仅仅能够获得正常成熟产量的 30.6%和 42.1%。水稻通常会发生茎倒伏和根倒伏,这两种类型的倒伏都可以单独或同时发生,但它们都从整体上影响植株的正常生长和产量^[14]。水稻一旦发生倒伏,将造成不同程度的减产及品质下降,直接威胁水稻的高产、稳产、优质。倒伏因阻碍了水分及营养物质、同化物等经木质部和韧皮部的运输,从而降低了灌浆的效率,会导致结实率及千粒重大幅度下降,造成大幅度减产^[42]。一般来说,倒伏的水稻会减产 10%~40%,严重者甚至超过 50%,同时会大幅度提高收割成本。水稻倒伏后茎叶相互遮挡非常严重,通风、透光性大幅下降,如遇阴雨天或田间湿度较大时,容易穗上发芽、腐烂变质,导致稻米品质大幅度下降。同时,水稻倒伏后容易伴随病虫害的发生,也更易遭受鸟、鼠害,加重损失^[16-17]。Setter^[43]提出每 2%的倒伏率会使谷物单产降低 1%。且倒伏的发生使水稻自我遮荫、冠层的光合作用下降,从而降低了水稻的产量。

2.2 倒伏对水稻品质的影响

倒伏不仅造成水稻产量降低,对稻米品质也会产生一定影响,导致稻米的精米率降低,垩白粒率上升,蛋白质含量不断流失,稻米的适口性严重下降。郎有忠等^[5]研究了抽穗至成熟期间水稻倒伏对水稻产量和籽粒品质的影响。结果发现,除糙米率外,粒长与粒宽之比、糊化温度,以及凝胶稠度都受到倒伏的影响而变差。水稻倒伏后茎叶相互遮挡非常严重,通风、透光性大幅下降,如遇阴雨天或田间湿度较大时,容易穗上发芽、腐烂变质,导致稻米品质大幅度下降^[44-45]。

3 水稻抗倒伏性的科学技术措施

大量的实践和理论研究表明,提高水稻抗倒伏能力需要综合施策,一定是良种良田良法良机良技相结合,仅凭一个措施“一招致胜”,是很难实现的。

3.1 育良种是提高水稻倒伏性的重要基础

多年来,抗倒伏性筛选始终是水稻育种的重点,无论国内外,南北方,还是籼稻梗稻,都选育出了一些抗倒伏能力强的品种。但倒伏性受多种因素影响,属于复杂遗传与生态性状范畴,要与其他性状统筹考虑^[8]。Baker 等^[46]提出了研究倒伏的综合模型,认为需要考查的倒伏相关参数至少有 30 个以上。育种实践中,既要 will 倒伏指数作为重要参考,还要深度对接其他性状指标,不断调整育种目标,只有各性状达到相对平衡时,才能得到理想中的抗倒伏材料,这样的材料不一定是抗倒伏能力最强的,但一定是最佳的。结合黑龙江生产实际,对水稻主栽品种(品系)抗倒性、相对实测产量等指标进行筛选,表现较好的品种(系)第一积温带包括:龙稻 16 等品种;第二积温带包括:绥粳 4 号、绥粳 18、绥锦 089290 等品种;第三积温带包括:绥粳 15、龙粳 51、龙粳 56 等品种;第四积温带包括:龙粳 24、龙粳 1525 等品种;第五积温带有:龙粳 4344,近年来,这些品种(品系)是黑龙江省水稻产业发展的重要基础^[47]。

3.2 选良田是提高水稻倒伏性的重要前提

好地打好粮,这是最朴素的道理。只有优良的土壤条件,才能稳定持续地提供作物生长所需水分和营养条件,土壤质地对抗倒伏水稻生产有显著影响,需要地力、地势、耕翻、排水、田间配套等因素综合匹配,全面提高抵御天灾能力,尽量避免倒伏现象发生^[48]。要结合气候、水源等条件,划定抗倒伏水稻种植适宜区与不宜区,进而有效调整抗倒伏水稻的种植布局。在具体措施上,要注重土壤改良,需要在低洼地段修筑排水沟,适当深耕,条件具备的要秋翻地,使耕作层厚度达到 20 cm 以上,创造良好土壤条件,促进水稻根系健壮发育,提高水稻根系抗倒伏能力^[49]。

3.3 用良法是提高水稻倒伏性的重要技术

3.3.1 科学确定播期和密度 水稻播期提前或滞后,既会影响水稻生育进程,也会对抗倒伏造成影响。随着播期的推迟,不同品种类型水稻在河南 3 个试点的表现都是产量下降,抗倒伏性也随之降低^[50]。适宜的密度可以增加产量,但随着密度的增大,作物的倒伏率逐步增高,即倒伏率和密度呈现出非常明显的相关性^[25]。同时田间密闭、群体大、个体生长能力弱,还容易导致病虫害,进而间接导致了水稻倒伏。黑龙江省三江地区,水稻生育

期一般在 130 d 左右。为保证 7 月底抽穗,适宜播种日期为 4 月 10 日—15 日,5 月 20 日前,6 月份绝对不播种。种植密度,播种量 $600 \text{ 盘} \cdot \text{hm}^{-2}$,耗种量 $120 \sim 160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,即每盘干种子 100 g 为宜。中肥力地块种植规格为 $30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,高肥力地块种植规格为 $30 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$ 。每丛种植 3~4 株基本苗^[51]。

3.3.2 平衡肥水管理 在肥料管理过程中,要根据一定比例施用氮、磷、钾肥,从而保证均衡施肥,防止水稻生长出现前旺后老的情况。根据目前的生产需求,应尽量多施农家肥,提高有机肥施用量,增加硅肥和钾肥能提高植株的抗倒性,防止水稻倒伏。合理的水分条件对防止水稻倒伏也十分重要。通过研究发现当水稻分蘖达到基本苗后要及时排水放田,可以预防植株倒伏。烤田是促进水稻生长的重要措施,可以促进水稻的根系向下伸长生长,控制水稻植株的分蘖,进而使田间群体形成小气候。经过实践发现,可以在灌浆后期进行稻田晾晒,这样可以防止倒伏。干湿交替同时控水将增加水稻土的硅和钾含量,从而使基部茎壁的厚度增加,茎粒的抗弯能力增加,可以在一定程度防止倒伏^[51-53]。干湿交替水分管理配合合理的钾肥管理可以明显提高水稻产量和降低植株倒伏风险^[54]。在生产中,要特别注意采取有效措施,控制第二节间(7 月 9 日—15 日)、第三节间(7 月 16 日—25 日)的生长,应避开此期施肥,以防倒伏^[55]。有研究认为,干湿交替水分管理和基肥:穗肥=5:5 的钾肥管理处理可以提高植株鲜重,降低重心高度,增加节间粗、茎壁厚、单位长度节间干重,从而提高节间抗折力和降低倒伏指数^[56]。

3.3.3 因地制宜使用化控剂 化学控制剂作用广泛,对抑制茎伸长、缩短节间、促进分蘖具有显著作用^[57-59]。通过应用高效植物生长调节剂矮壮、烯效唑可抑制赤霉素的合成,进而抑制细胞的伸长,缩短节间、矮化植株,提高水稻的抗倒性^[60]。硅肥和氮肥混施可提高茎秆直径和茎秆壁厚,通过提高水稻茎秆抗折力提升水稻抗倒伏能力^[61]。微量元素也可以发挥重要作用,施硅可以提高节间茎秆抗折力^[62],增加水稻整个生育期的纤维素含量,纤维素含量越高,茎秆越坚硬,抗倒伏能力越强^[63-64]。用抗倒酯可以改善北方优质稻茎秆的形态和解剖结构,提高植株抗倒伏能力。在孕穗期施用对提升抗倒伏能力最有效^[65]。

3.4 配良机是提高水稻倒伏性的重要手段

水稻一旦发生倒伏,需要快速了解灾情程度^[66],传统的人工监测方法可以及时处理小规模轻微倒伏,但当倒伏面积过大时,人工监测的低效率很可能会延误灾害救援的时机。在“互联网+

的背景下,信息技术与农业深度融合。雷达遥感、卫星遥感都可以实现快速监测,无人机在安全性、操作环境与方法、时空分辨率、价格等方面优势突出。利用无人机搭载多源相机为倒伏监测提供了新的方向,生产中要注重利用无人机技术,推动智慧农业发展^[67]。

参考文献:

- [1] 胡继松,彭伟正,庞伯良,等. 水稻抗倒伏性及评价指标体系研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011(13): 41-44.
- [2] 金正勋,郑冠龙,朱立楠,等. 不同氮钾肥施用方法对水稻产量及抗倒伏性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(3): 9-14.
- [3] WANG D F, QIN Y L, FANG J J, et al. A missense mutation in the zinc finger domain of OsCESA7 deleteriously affects cellulose biosynthesis and plant growth in rice [J]. PLoS One, 2016, 11(4): 1-16.
- [4] 李文熙. 水稻倒伏的原因及减轻危害的对策[J]. 韩国作物学会志, 1991, 36(5): 383-393.
- [5] 郎有忠,杨晓东,王美娥,等. 结实阶段不同时期倒伏对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(4): 407-412.
- [6] 时红,熊强强,才硕,等. 水分胁迫对干旱锻炼后水稻抗旱涝能力的影响及其生理机制(英文)[J]. 水利水电技术, 2022, 53(6): 44-55.
- [7] 艾治勇,马国辉. 水稻倒伏研究现状[J]. 作物研究, 2004 (S1): 334-338.
- [8] 李扬汉. 禾本科作物的形态与解剖[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [9] 吴泽芳,衡艳,邱丹,等. 33 份水稻材料的抗倒伏性评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 736-744.
- [10] 申广勒,石英尧,张从合. 水稻抗倒伏聚类分析及其在育种中的应用[J]. 园艺与种苗, 2017(5): 59-62.
- [11] 梁康迳,王雪仁,章清杞,等. 基因型×环境互作效应对水稻茎秆抗倒性杂种优势的影响[J]. 福建农业大学学报, 2000(1): 12-17.
- [12] 肖应辉,罗丽华,闫晓燕,等. 水稻品种倒伏指数 QTL 分析[J]. 作物学报, 2005(3): 348-354.
- [13] 王小虎,方云霞,祝阳舟,等. 水稻水培抗倒伏相关性状的 QTL 分析[J]. 核农学报, 2016, 30(5): 850-858.
- [14] YANO K, OOKAWA T, AYA K, et al. Isolation of a novel lodging resistance QTL gene involved in strigolactone signaling and its pyramiding with a QTL gene involved in another mechanism [J]. Molecular Plant, 2015, 8(2): 303-314.
- [15] 李进波,戚英雄. 水稻抗倒伏的遗传研究进展[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(23): 4450-4453.
- [16] 杨守仁,张龙步,王进民. 水稻理想株形育种的理论和方法初论[J]. 中国农业科学, 1984(3): 6-13.
- [17] 关玉萍,沈枫. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及对产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2004(4): 6-11.
- [18] 霍中洋,董明辉,张洪程,等. 不同梗稻品种倒伏指数及其相关农艺性状分析[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2003(3): 234-237.
- [19] 华泽田,郝宪彬,沈枫,等. 东北地区超级杂交梗稻倒伏性状的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003(3): 161-164.
- [20] 徐正进,张龙步,陈温福,等. 从日本超高产品种(系)的选育看梗稻高产的方向[J]. 沈阳农业大学学报, 1991(S1): 27-33.

- [21] 张忠旭,陈温福,杨振玉,等.水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1999(2):81-85.
- [22] 徐正进,陈温福,韩勇,等.辽宁水稻穗型分类及其与产量和品质的关系[J].作物学报,2007,33(9):1411-1418.
- [23] 吴伟,程旺大,姚海根.密穗型水稻的研究现状及展望[J].中国农学通报,2005,21(8):165-169.
- [24] 马均,马文波,田彦华,等.重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J].作物学报,2004(2):143-148.
- [25] 齐龙昌,周桂香.水稻抗倒伏性状影响因素研究进展[J].安徽农业科学,2019,47(9):19-22,25.
- [26] 胡雅杰,曹伟伟,钱海军,等.钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J].作物学报,2015,41(5):743-757.
- [27] 凌启鸿.水稻群体质量的理论与实践[M].北京:农业出版社,1994.
- [28] 杨艳华,朱镇,张亚东,等.不同水稻品种(系)抗倒伏能力与茎秆形态性状的关系[J].江苏农业学报,2011,27(2):231-235.
- [29] TANAKA K. Three distinct rice cellulose synthase catalytic subunit genes required for cellulose synthesis in the secondary wall[J]. Plant Physiology, 2003, 133: 73-83.
- [30] LI X J, YANG Y, YAO J L, et al. FLEXIBLE CULM1 encoding a cinnamyl-alcohol dehydrogenase controls culm mechanical strength in rice[J]. Plant Molecular Biology, 2009, 69: 685-697.
- [31] 欧阳慧,杨贤莉,王立志,等.水稻抗倒伏性评价方法及机理的研究现状及展望[J].中国稻米,2023,29(2):12-17.
- [32] 史占忠,王晓明.水稻倒伏原因及防御技术措施[J].北方水稻,2014,44(4):56-58,60.
- [33] 何贤彪,吴晓华,马义虎.台州沿海台风所致水稻倒伏对产量的影响[J].中国稻米,2015,21(2):28-29.
- [34] 李小坤,李云春,鲁剑巍,等.强降雨致洪涝灾害下不同因素对水稻倒伏的影响[J].自然灾害学报,2012,21(6):99-103.
- [35] ZHU C, ZISKA L H, SAKAI H, et al. Vulnerability of lodging risk to elevated CO₂ and increased soil temperature differs between rice cultivars [J]. European Journal of Agronomy, 2013, 46: 20-24.
- [36] 赵黎明,顾春梅,陈淑洁,等.水稻倒伏研究及其影响因素分析[J].北方水稻,2009,39(4):66-70.
- [37] 杨长明,杨林章,颜廷梅,等.不同养分和水分管理模式对水稻抗倒伏能力的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):646-650.
- [38] 陆魁东,宁金花,解娜,等.淹涝胁迫对水稻形态的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(1):18-23.
- [39] 郭相平,黄双双,王振昌,等.不同灌溉模式对水稻抗倒伏能力影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2017,36(5):1-5.
- [40] 蒋明金,王海月,何艳,等.氮肥管理对直播杂交水稻抗倒伏能力的影响[J].核农学报,2020,34(1):157-168.
- [41] 汤云龙,汪楠,张欣等.水稻倒伏与产量及食味的关系[J].北方水稻,2021,51(2):8-12.
- [42] 陈书强,赵海新,杜晓东,等.氮肥运筹对黑龙江省第三积温带水稻抗倒伏能力的影响[J].华北农学报,2015,30(S1):390-394.
- [43] SETTER T L, LAURELES E V, MAZAREDO A M. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis[J]. Field Crops Research, 1997, 49 (2-3): 95-106.
- [44] 王晓飞,陆展华,刘维,等.“绿色革命”以来水稻抗倒伏研究进展[J].广东农业科学,2022,49(3):1-13.
- [45] KASHIWAGI T, SASAKI H, ISHIMARU K. Factors responsible for decreasing sturdiness of the lower part in lodging of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Plant Production Science, 2005, 8(2): 166-172.
- [46] BAKER C J, STERLING M, BERRY P. A generalised model of crop lodging[J]. Journal of Theoretical Biology, 2014, 363: 1-12.
- [47] 陈书强,薛菁芳,杜晓东,等.黑龙江省水稻主栽品种(系)节水抗旱栽培下的抗倒性研究[J].中国稻米,2021,27(1):51-58.
- [48] 徐占炜.灌区农田水利基本建设面临的困难及优化建议[J].农业科技与信息,2022(8):93-95,102.
- [49] 李文超.寒地水稻倒伏发生的原因及预防措施[J].现代农业,2020(6):39-40.
- [50] 许轲,孙圳,霍中洋,等.播期、品种类型对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J].中国农业科学,2013,46(20):4222-4233.
- [51] 郑雨,李玉影,韩晓日,等.不同水肥管理措施对寒地水稻产量及水肥利用效率的影响[J].黑龙江农业科学,2019(11):52-57.
- [52] 宋冬明,贺梅,孟巧霞,等.寒地水稻倒伏因素浅析及应对措施研究[J].北方水稻,2011,41(6):53-55.
- [53] 马波.肥料和密度对寒地早熟粳稻产量及品质的影响[J].黑龙江农业科学,2021(3):1-6.
- [54] 吴海兵,刘道红,钟鸣,等.水分管理和钾肥施用对水稻产量和抗倒伏性的影响[J].作物杂志,2019,188(1):127-133.
- [55] 张怀凤,梁誉.水稻倒伏调查报告[J].北方水稻,2020,50(1):41-42.
- [56] 王英豪,汪源,蒋岩,等.化学调控下穗肥施氮量对水稻产量及抗倒性的影响[J].江苏农业科学,2023,51(11):92-97.
- [57] 张玉,王凤良,卞康亚,等.新型植物生长调节剂对水稻生长发育和抗逆性的影响[J].中国农技推广,2023,39(4):97-100.
- [58] 邵玺文,牟金猛,杨志鑫,等.多效唑施用方式对水稻抗倒伏能力及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2023,54(1):1-9.
- [59] 吴海洋,姜钦龙,李云,等.多效唑对万象优华占茎秆及产量性状的影响[J].杂交水稻,2020,35(6):57-59.
- [60] 周宇.水稻化控抗倒伏技术研究[J].现代化农业,2020(3):29-30.
- [61] 赵海成,李红宇,陈立强,等.硅氮配施对寒地水稻产量品质及抗倒性的影响[J].上海农业学报,2018,34(4):36-42.
- [62] 孔宇,张文忠,高继平,等.钾硅镁配施对寒地水稻产量及品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2016,47(2):224-229.
- [63] 魏晓东,宋雪梅,赵凌,等.硅锌肥及其施用方式对南梗46产量和稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2023,37(3):295-306.
- [64] 王启琛.保壮剂不同施用时期与用量对水稻产量和抗倒伏能力的影响[D].扬州:扬州大学,2017.
- [65] 张小鹏,宫彦龙,闫秉春,等.抗倒酯对北方优质稻抗倒伏能力、产量和米质的影响[J].中国水稻科学,2022,36(2):181-194.
- [66] 矫江,李禹尧.黑龙江省水稻倒伏原因与防御对策研究[J].黑龙江农业科学,2012(8):1-5.
- [67] 周平,周恺,刘涛,等.水稻倒伏监测研究进展[J].中国农机化学报,2019,40(10):162-168.



庞泽,田国奎,王海艳,等.马铃薯疮痂病危害及其防治研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(9):137-142.

马铃薯疮痂病危害及其防治研究进展

庞 泽,田国奎,王海艳,李风云,潘 阳,丁凯鑫,李明雪,王立春

(黑龙江省农业科学院 克山分院/农业农村部马铃薯生物学与遗传育种重点实验室/国家马铃薯改良中心,黑龙江 齐齐哈尔 161000)

摘要:疮痂病是马铃薯现阶段常见的病害之一,是一种严重的土传病害,在中国乃至世界范围内广泛发生。感病的马铃薯薯块会产生凹陷状或凸起状的病斑,严重的会覆盖整个块茎,整个薯块的外观表型变差,整体品质下降,且不耐储藏,极易发生腐烂。疮痂病已成为制约我国马铃薯生产的主要病害,极大地限制了我国马铃薯产业的发展进度,因此针对马铃薯疮痂病的研究愈发重要。本文针对马铃薯疮痂病的病症表现、发病规律、致病机理、防治措施与手段进行了总结,并对今后马铃薯抗疮痂病研究方向进行了展望。

关键词:马铃薯;疮痂病;致病机理;防治措施;抗病育种

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是世界主要粮食作物之一,在全球粮食安全方面起到了重要的保障作用。据联合国粮食和农业组织(Food and Agriculture Organization of the United

Nations,FAO)2022 年最新统计,从全球范围内来看,马铃薯现阶段已成为第三大粮食作物,并且在谷类作物单产接近极限的情况下,马铃薯成为全球粮食安全体系中的首选作物之一。具 FAO 报告显示,全球大约有 2/3 的人口将马铃薯作为主粮消费,将近 50% 的马铃薯用于家庭主食或者蔬菜,发达国家的马铃薯加工比例平均在 40% 以上。发展中国家仍然是以鲜食马铃薯作为主要的消费方式,但在中国、印度、俄罗斯等国家,马铃薯的消费方式正悄然发生变化,休闲和快餐等高附加值食品消费逐步增加。亚洲范围内,部分地区或国家的马铃薯消费量正大幅度提升,尤其是中

收稿日期:2023-03-05

基金项目:国家马铃薯产业技术体系齐齐哈尔综合试验站(CARS-09-ES37);黑龙江省省属科研院所科研业务费项目“马铃薯疮痂病发生的土壤微生物学机制及调控对策研究”(CZKYF2021003);黑龙江省农业科学院院级课题-马铃薯疮痂病致病毒素 Thaxtomin A 耐受基因挖掘及表达分析。

第一作者:庞泽(1996—),男,硕士,研究实习生,从事马铃薯作物育种研究。E-mail:1925675258@qq.com。

通信作者:王立春(1978—),男,硕士,研究员,从事马铃薯作物育种研究。E-mail:wanglichun78@163.com。

Research Progress on Influencing Factors and Solving Strategies of Lodging Resistance in Rice

SUN Yu¹, ZENG Xiannan¹, WANG Qi¹, SONG Qiulai¹, WANG Manli¹, LI Xichen¹, FENG Yanjiang²

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154026, China)

Abstract: Lodging is a common problem in rice production and has become the main factor restricting the further development of rice production, and it will lead to yield loss and rice quality decline. Analyze and summarize relevant literature at home and abroad to understand the current research status of rice lodging. The results showed that genetic characteristics, plant morphology, natural conditions and cultivation conditions cause lodging of rice. Rice lodging can directly lead to changes in yield and quality, reducing yield and significantly affecting rice quality, thereby affecting the rice industry. It is proposed to comprehensively deal with the lodging problem of rice by combining planting good fields, methods and opportunities.

Keywords: rice; lodging; influence factor; measure