

宋佳敏, 尤 杰, 文廷刚, 等. 不同时期喷施二氢卟吩铁和调环酸钙对水稻倒伏及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(19): 57–61.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.19.009

不同时期喷施二氢卟吩铁和调环酸钙 对水稻倒伏及产量的影响

宋佳敏¹, 尤 杰¹, 文廷刚¹, 蒋伟勤¹, 杜小凤¹, 顾大路¹, 季英华², 徐永刚³

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏淮安 223001; 2. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014; 3. 淮阴师范学院, 江苏淮安 223300)

摘要:为明确不同时期喷施二氢卟吩铁和调环酸钙对水稻倒伏及产量的影响。以泗稻 16 为材料, 采用裂区设计, 分别在水稻拔节期和始穗期喷施不同浓度二氢卟吩铁和调环酸钙, 以清水为对照(CK), 共 7 个处理。研究了不同植物生长调节剂对水稻茎秆形态特征、抗折力、光合能力、抗氧化相关酶活性及产量的影响。结果表明, 相较于 CK, 拔节期喷施 45 mg/L 0.02% 二氢卟吩铁能显著提高过氧化氢酶(CAT)和过氧化物歧化酶(SOD)活性, 分别增加了 13.9% 和 71.0%, 也能相对提高叶片中叶绿素含量, 即增强其叶片抗氧化及光合生产能力, 故实现增产 14.5%; 同时显著降低了水稻倒 5 节节长及株高, 分别降低了 13.9% 和 3.5%, 而茎秆抗折力增加了 15.4%。在始穗期喷施 67.5 mg/L 0.02% 二氢卟吩铁及 15 mg/L 调环酸钙提高了 CAT 活性, 显著增加了喷施后 6 d 水稻叶片叶绿素含量, 实现增产 16.9% 和 14.8%; 同时增加水稻基部节粗, 抗折力分别增加了 18.8% 和 35.1%。因此推荐在拔节期喷施 45 mg/L 0.02% 二氢卟吩铁, 始穗期喷施 67.5 mg/L 0.02% 二氢卟吩铁及 15 mg/L 调环酸钙实现水稻抗倒增产。

关键词:水稻; 二氢卟吩铁; 调环酸钙; 倒伏; 产量

中图分类号:S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)19-0057-05

倒伏一直以来是水稻生产上的一个难题。据研究, 在水稻乳熟期由于倒伏原因所造成的损失率一般在 15% ~ 25%, 产量损失 50 ~ 125 kg/667 m² 左右, 蜡熟期至完熟期的损失率一般在 5% ~ 15%, 产量损失 25 ~ 75 kg/667 m²。若倒伏后管理不当, 不仅影响产量, 水稻品质也会受到严重影响, 损失率可达 40% ~ 50%, 产量损失可达 150 ~ 250 kg/667 m², 甚至绝收^[1]。倒伏不仅造成水稻减产, 同时也给收割贮存和稻米品质造成很大影响^[2]。近年来, 随着灾害天气频发, 水稻倒伏发生频率不断增加, 倒伏已成为制约水稻高产优质发展的重要障碍。在造成水稻倒伏的因素中, 基部茎秆抗倒力强弱是影响倒伏重要因素, 水稻抗倒力强弱与基部节间的长度、粗度及节间力学特性有密切关系^[3-4]。关于抗倒伏的措施, 培育抗倒品种是常用手段, 但其花费时间及成本大。在栽培耕作方面, 混作防倒、改变播种时期及种植密度是常用抗倒手段, 但其操作复

杂, 效果甚微^[5]。生长调节剂的施用可有效防治水稻倒伏减产, 操作方便快捷, 是水稻抗倒的有效手段。关于化控调节剂的抗倒作用前人已有研究, 但有些调节剂在生育前期应用有防倒效果, 但一直存在造成作物减产的问题。有研究发现, 在拔节期喷施多效唑虽提高了抗倒性, 但造成了小麦减产 12.25%, 而在破口期应用不仅抗倒效果差还会造成减产^[6], 而且多效唑在土壤中残留期较长, 易对下茬作物生长有负面影响。烯效唑在水稻上应用有一定时期局限性, 使用过早防倒效果差, 过迟影响产量^[7]。调环酸钙可阻断赤霉素的合成, 抑制作物营养器官生长, 对茎节伸长有较好的抑制作用, 可以降低作物株高, 防止倒伏。而相对于三唑类延缓剂, 调环酸钙残留毒性小、无污染^[8]。二氢卟吩铁主要调控叶绿素合成, 增强作物光合能力, 可以有效促进作物生长及提高作物抗逆性。目前, 关于调环酸钙和二氢卟吩铁的研究多集中在对作物生长发育的影响, 而对水稻抗倒方面鲜有报道。本研究通过探究不同时期喷施二氢卟吩铁和调环酸钙对水稻茎秆质量、抗倒性、生理生化特性和产量的影响, 以期二氢卟吩铁及调环酸钙产业化提供技术支撑及拓展产品研发提供技术依据。

收稿日期: 2022-12-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(21)1011]。

作者简介: 宋佳敏(1996—), 女, 山西阳泉人, 硕士, 研究实习员, 主要从事小麦化控栽培技术研究。E-mail: 962193633@qq.com。

通信作者: 顾大路, 硕士, 研究员, 主要从事作物逆境调控技术研究。

E-mail: gudalu666@aliyun.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2021 年在江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所试验基地进行,前茬为小麦,土质为沙壤土,肥力中等。供试品种为泗稻 16(由江苏省大华种业集团有限公司生产,市场采购),于 5 月 22 日播种育秧,6 月 12 日人工移栽,株距 15 cm,行距 20 cm,设小区面积 20 m²。试验采取裂区设计,以不同时期为主区,不同调节剂处理为副区,随机区组分布。设置 7 个喷施处理,处理 A1:0.02% 二氢吡吩铁 22.5 mg/L;处理 A2:0.02% 二氢吡吩铁 45.0 mg/L;处理 A3:0.02% 二氢吡吩铁 67.5 mg/L;处理 B1:调环酸钙 15 mg/L;处理 B2:调环酸钙 30 mg/L;处理 B3:调环酸钙 45 mg/L;处理 CK:空白对照,喷等量清水,详见表 1。每个处理设 3 个重复,分别在水稻拔节期和始穗期进行叶面喷施,采用药量为 100 mL/m²。秧苗移栽前,基施纯 N 69 kg/hm²,过磷酸钙 360 kg/hm²,氯化钾 110 kg/hm²,移栽后追施纯 N 50 kg/hm² 作为分蘖肥,其余管理措施同大田常规栽培。

表 1 试验处理

处理	调节剂(mg/L)	
	0.02% 二氢吡吩铁	调环酸钙
A1	22.5	—
A2	45.0	—
A3	67.5	—
B1	—	15
B2	—	30
B3	—	45
CK	—	—

1.2 测定项目与方法

喷施处理后取 4 株水稻顶展叶立即放入液氮,样品保存于 -40 ℃ 冰箱用于测定抗氧化相关酶活性,喷施当天及处理后每 3 d 测量水稻株高和主茎最上部叶片叶绿素含量,株高共连续测定 3 次,叶绿素含量共连续测定 5 次。在水稻乳熟期,小区取水稻主茎测定水稻茎秆抗折力。收获时,田间测定水稻株高,每个小区取 20 个单株(主茎)进行室内考种,考察水稻各节间长度、节间粗度及产量指标(穗总粒数、穗实粒数、千粒质量),每小区实收 1 m² 水稻测稻谷产量。

抗氧化相关酶测定:采用超氧化物歧化酶

(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)测试盒(南京建成生物技术公司)并参照使用说明测定 CAT、SOD、POD 活性。

剑叶叶绿素含量测定:使用叶绿素仪(SPAD-502,Monito 公司),每个小区选择 10 株水稻,选择剑叶测量 3 个不同位置的 SPAD 值,取平均值。

水稻田间茎秆抗折力测定:在乳熟期测定水稻田间茎秆抗折力,每个小区选择 10 株水稻,在水稻距地面 20 cm 处,施以垂直于其茎秆向前推力,推压至与地面夹角 45°处,用植物倒伏测试仪(YD-1,浙江托普仪公司)记录压力值。

1.3 统计分析

采用 Microsoft Excel 2021 软件对试验数据进行计算和处理,用 SPSS 20.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻茎秆形态及株高动态变化的影响

2.1.1 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻茎秆形态的影响 由表 2 可知,与对照相比,在水稻拔节期,喷施不同浓度二氢吡吩铁显著降低了水稻倒 5 节节长及株高(3.7%、3.5% 和 3.9%),其中,A2 和 A3 处理显著增加了水稻茎秆抗折力(15.4% 和 17.6%);B3 处理显著增加了水稻倒 5 节粗度及抗折力($P<0.05$)。在水稻始穗期,A1 和 A3 显著降低了水稻株高(5.4% 和 2.3%);A1、A3、B1、B2 处理增加了倒 5 节粗度,显著增强了水稻茎秆抗折力;其中,A3 显著降低了水稻茎下节间节长,B1 处理显著增加了水稻各节间粗度($P<0.05$)。说明拔节期喷施不同浓度二氢吡吩铁可以通过降低水稻基部节长及株高提高其抗倒性,始穗期喷施植物生长调节剂可以通过增加基部节间粗度提高水稻抗倒性。

2.1.2 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻株高动态变化的影响 由表 3 可知,与 CK 相比,在拔节期,A3 处理极显著抑制了喷施后 3 d 水稻株高增长速率($P<0.05$);喷施不同浓度二氢吡吩铁极显著抑制了喷施后 6 d 水稻株高增长速率($P<0.01$);B1、B2、B3 对水稻的株高增长率都抑制作用,但是差异未达到显著水平。在始穗期,A1 和 A3 处理极显著抑制了喷施后 3 d 和喷施后 6 d 水稻株高增长速率($P<0.01$);B1、B2、B3 均抑制了喷施后 6 d 水稻株高增长速率,但仅有 B2 处理达极显著水平($P<0.01$)。说明在拔节期和始穗期喷施二氢吡吩

表 2 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻茎秆形态的影响

时期	处理	株高 (cm)	节间长度(cm)					节间粗度(cm)					茎秆抗折 力(N)
			倒 1 节	倒 2 节	倒 3 节	倒 4 节	倒 5 节	倒 1 节	倒 2 节	倒 3 节	倒 4 节	倒 5 节	
拔节期	A1	88.45c	21.37d	13.65b	16.21cd	13.34ab	9.67b	2.01ab	3.32b	3.58b	4.17a	4.87d	22.84c
	A2	88.69c	22.36cd	13.65b	16.41bc	13.44ab	9.53b	1.96b	3.37b	3.69ab	4.25a	5.21b	25.47a
	A3	88.30c	22.27cd	13.93b	16.69b	13.01bc	9.45b	2.03ab	3.35b	3.62ab	4.22a	5.06c	25.96a
	B1	95.47a	24.04a	15.30a	17.27a	13.76a	11.07a	1.97b	3.39b	3.68ab	4.33a	5.06c	22.74c
	B2	91.37b	23.43ab	13.94b	16.81b	13.76a	10.63a	2.04ab	3.42b	3.72ab	4.30a	4.96cd	21.53d
	B3	91.63b	22.81bc	13.24b	15.94de	13.52ab	10.67a	2.13a	3.76a	3.94a	4.49a	5.42a	24.53b
	CK	91.86b	22.12cd	14.01b	15.69e	12.40c	11.07a	2.01ab	3.34b	3.74ab	4.34a	5.09bc	22.08cd
始穗期	A1	88.41c	22.86cd	13.93bc	16.51a	12.52c	9.27c	2.00b	3.46ab	3.74ab	4.38b	5.17ab	22.58b
	A2	92.09ab	24.05a	14.38a	17.05a	13.23a	10.92a	1.99b	3.31b	3.59b	4.17b	5.02bc	18.18d
	A3	91.29b	22.15d	13.56d	16.13a	13.38a	9.65bc	1.99b	3.39ab	3.73ab	4.28b	5.22ab	20.98c
	B1	93.14a	24.14a	14.04b	17.24a	13.19a	9.80bc	2.13a	3.72a	4.05a	4.79a	5.39a	23.86a
	B2	92.81ab	24.21a	13.68cd	16.61a	13.09ab	10.01b	1.95b	3.30b	3.59b	4.46b	5.02bc	20.05c
	B3	92.83ab	23.22bc	13.21e	16.38a	13.29a	9.73bc	2.00b	3.17b	3.59b	4.17b	4.98bc	17.77d
	CK	93.43a	23.83ab	13.98b	16.59a	12.71bc	9.47bc	1.96b	3.31b	3.65b	4.19b	4.83c	17.66d

注:同栏同列数值后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

表 3 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻株高动态变化的影响

时期	处理	喷施当天	喷施后 3 d		喷施后 6 d	
		测定值 (cm)	测定值 (cm)	增长率 (%)	测定值 (cm)	增长率 (%)
拔节期	A1	48.17	58.33	21.09	59.39	23.29**
	A2	48.50	58.56	20.74	59.39	22.45**
	A3	52.50	59.00	12.38**	63.78	21.49**
	B1	49.00	58.67	19.73	62.50	27.55
	B2	50.00	59.61	19.22	63.72	27.44
	B3	48.91	58.44	19.48	62.44	27.66
	CK	47.47	57.56	21.26	61.17	28.86
始穗期	A1	86.91	89.00	2.40**	90.00	3.56**
	A2	87.44	91.31	4.43	92.77	6.10
	A3	89.13	90.69	1.75**	92.82	4.14**
	B1	88.72	93.64	5.55	94.30	6.29
	B2	89.38	93.60	4.72	94.16	5.35**
	B3	87.41	91.41	4.58	92.61	5.95
	CK	86.98	90.66	4.23	92.90	6.81

注: *、** 分别表示与 CK 相比差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$);增长率相对于喷施当天。

铁对水稻株高增长率有抑制作用,且在喷施后 6 d 抑制作用最明显;而喷施调环酸钙仅有 B2 处理在喷施后 6 d 才有显著抑制株高增长的效果。

2.2 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻 SPAD 的影响

由表 4 可知,与 CK 相比,在拔节期,A1 和 A2 处理显著提高了喷施后 3 d 水稻叶绿素含量(SPAD

值),A3、B2 和 B3 处理显著提高了喷施后 9 d 水稻 SPAD 值($P<0.05$)。在始穗期,A1、A2、B2 显著提高了喷施后 3 d 水稻 SPAD 值,A3、B1、B2 显著提高了喷施后 6 d 水稻 SPAD 值($P<0.05$)。说明在拔节期和始穗期喷施植物生长调节剂后 3~9 d 提高了水稻叶绿素含量,增强光合能力,有利于水稻生长,尤其是在水稻始穗期喷施二氢叶吩铁显著提高了水稻叶绿素含量,增强了水稻的光合作用,为增加水稻产量提供了广大的“源”。

表 4 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻 SPAD 动态变化的影响

时期	处理	SPAD 值				
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d
拔节期	A1	43.03a	48.49a	42.78a	42.84cd	43.00b
	A2	42.90a	48.27a	44.40a	43.96bc	44.43ab
	A3	43.98a	42.91c	44.66a	45.59a	43.44ab
	B1	42.36a	44.10bc	44.76a	42.23d	43.43ab
	B2	43.93a	45.09b	45.38a	44.42ab	43.99ab
	B3	43.84a	44.47b	44.43a	44.60ab	44.89a
	CK	44.03a	43.96bc	43.78a	42.91cd	43.87ab
始穗期	A1	45.71a	45.18a	42.40d	43.59a	42.56a
	A2	45.43a	44.38ab	42.41d	44.43a	42.58a
	A3	45.93a	42.37e	44.14ab	44.58a	41.43a
	B1	45.86a	43.32cd	44.72a	44.69a	42.08a
	B2	45.27a	44.30ab	44.27ab	43.72a	42.51a
	B3	45.20a	43.32cd	42.72cd	44.73a	42.58a
	CK	45.54a	42.50de	43.13cd	44.60a	42.21a

2.3 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻抗氧化能力的影响

由表 5 可知,与 CK 相比,在水稻拔节期,喷施不同浓度调环酸钙及 A2 处理显著提高了过氧化氢酶(CAT)活性,喷施不同浓度二氢普吩铁显著提高了超氧化物歧化酶(SOD)活性,A3、B1 处理显著提高了过氧化物酶(POD)活性(18.6%和20.2%)($P<0.05$)。在水稻始穗期,喷施不同浓度二氢普吩铁显著提高了 CAT 和 POD 活性,B2、B3 处理显著提高了 SOD 活性(14.7%和30.0%)($P<0.05$)。表明拔节期喷施不同浓度调环酸钙主要提高 CAT 活性,喷施不同浓度二氢普吩铁主要提高 SOD 活性来增强水稻抗氧化能力;始穗期喷施不同浓度二氢普吩铁主要提高 CAT 及 POD 活性,喷施不同浓度调环酸钙主要提高 SOD 活性来增强水稻抗氧化能力。

2.4 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻产量的影响

由表 6 可知,与 CK 相比,在水稻拔节期,A1、A2 和 B1 处理显著增加了水稻有效穗数和产量,产量

分别比对照增加了 8.0%、14.5%和13.8%($P<0.05$)。在水稻始穗期,A3 和 B1 显著增加了水稻穗粒数和产量(16.9%和14.8%)。

表 5 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻抗氧化相关酶活性的影响

时期	处理	CAT 活性 [mmol/(min·mg)]	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 (U/g)
拔节期	A1	0.45b	7 493.26a	823.04ab
	A2	0.50a	7 271.87a	823.80ab
	A3	0.41c	7 366.78a	841.26a
	B1	0.50a	3 346.42c	852.48a
	B2	0.53a	3 262.52c	768.37ab
	B3	0.51a	3 678.51bc	762.13ab
	CK	0.46b	4 252.76b	709.15b
始穗期	A1	1.86b	5 511.6de	1 030.93ab
	A2	1.88b	5 810.32cd	1 042.46a
	A3	1.83b	5 627.69de	1 044.67a
	B1	1.82bc	5 252.68e	951.39cd
	B2	2.19a	6 230.77bc	922.50cd
	B3	1.37d	7 062.90a	910.35d
	CK	1.67c	5 432.46de	957.43cd

表 6 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻产量的影响

时期	处理	有效穗数 (×10 ⁴ 穗/hm ²)	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	产量 (t/hm ²)
拔节期	A1	444.00b	116.57c	97.49a	27.31b	10.20b
	A2	452.00b	125.60a	98.02a	27.89ab	10.81a
	A3	377.33c	121.83ab	97.69a	27.73b	9.22c
	B1	520.00a	104.47d	97.87a	27.30b	10.74ab
	B2	384.00c	118.50bc	96.37a	28.56a	9.27c
	B3	312.00d	124.25a	97.83a	28.46a	7.99d
	CK	382.67c	123.64ab	97.24a	27.72b	9.44c
始穗期	A1	343.07a	143.77b	96.97a	27.80ab	10.86ab
	A2	347.75a	133.24c	96.76a	27.61b	9.90b
	A3	343.98a	149.80b	97.13a	28.22a	11.90a
	B1	342.24a	157.32a	97.15a	27.38b	11.69a
	B2	360.36a	135.63c	96.23a	27.80ab	10.04b
	B3	356.03a	146.74b	96.76a	27.55b	10.86ab
	CK	351.88a	136.40c	97.58a	27.51b	10.18b

3 讨论

3.1 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻茎秆形态的影响

有大量研究发现,水稻抗倒性与其茎秆形态密切相关。当前衡量水稻抗倒性强弱的茎秆形态主要包括株高、节间长度与粗度等^[6,9]。本研究结果表明,喷施不同植物生长调节剂对水稻不同茎秆形态造成了显著影响,说明喷施不同浓度二氢卟吩铁

和调环酸钙可通过调节水稻不同茎秆形态提高其抗倒性。有研究表明,喷施植物生长调节剂可增加水稻茎秆粗度,缩短节间长,株高明显低于对照,抗折力显著增加^[6,10]。而不同时期喷施不同调节剂对植株抗倒影响不同,荣勇发现,在拔节前喷施 5% 调环酸钙降低了水稻株高,比对照增产了 11.58%^[11]。周骏辉等发现,在拔节前喷施调节剂可以缩短水稻第二节间长度,有效控制株高^[12]。丁国霞发现,在始穗期喷施调节剂可缩短穗下节和倒 2 节,降低株

高,同时可以增强茎秆粗度和抗折力^[13]。本研究中,在拔节期,喷施不同浓度二氢吡吩铁减缓了水稻株高增长速度,显著降低了基部节间长度和株高,其中,喷施浓度为 45.0、67.5 mg/L 的 0.02% 二氢吡吩铁(A2 和 A3)显著提高了水稻茎秆抗折力。在始穗期,喷施二氢吡吩铁 A1 和 A3 处理抑制水稻株高增长速率,显著降低了水稻株高,增加了水稻穗下节间粗度和茎秆抗折力;喷施浓度为 15 mg/L 的调环酸钙(B1)处理显著增加了水稻各节间粗度和茎秆抗折力。说明在拔节期喷施二氢吡吩铁主要通过缩短节间长度限制株高增长来提高水稻抗倒性,其中,浓度为 45.0 及 67.5 mg/L 的 0.02% 二氢吡吩铁抗倒效果最佳。在始穗期各处理主要通过增加水稻基部节间粗度来提高其抗倒性,其中,浓度为 22.5、67.5 mg/L 的 0.02% 二氢吡吩铁,15 mg/L 调环酸钙抗倒效果最优。

3.2 不同时期喷施植物生长调节剂对水稻生长及产量的影响

喷施植物生长调节剂不仅可提高作物抗倒性^[14],同时可提高作物抗氧化能力,增强光合作用^[15-16],保证作物稳产甚至增产^[17-19]。闻祥成等研究发现,与对照相比,在水稻破口期喷施植物生长调节剂提高了其灌浆期 CAT、POD 和 SOD 活性,显著降低了 MDA 含量,产量最大增幅可达 15.98%^[20]。郑乐娅等研究发现,在水稻始穗期喷施植物生长调节剂后 SPAD 值显著高于对照,增幅介于 0.27% ~ 7.34%,有效提高了叶片光合速率,利于水稻高产稳产^[16]。本研究结果显示,在拔节期 A1 和 A2 处理通过提高水稻 SOD 活性及叶绿素含量,B1 通过提高 CAT 和 POD 活性,增加了水稻有效穗数和产量,其中,A2 处理增产效果最佳,抗倒性强,因此推荐在水稻拔节期应用 45.0 mg/L 0.02% 二氢吡吩铁抗倒。在始穗期,与对照相比,A3 和 B1 处理显著提高了水稻叶绿素含量,提高了其抗氧化及抗倒能力,增加了水稻穗粒数和产量,说明始穗期喷施 67.5 mg/L 0.02% 二氢吡吩铁及 15 mg/L 调环酸钙有利于水稻抗倒增产。

4 结论

本研究通过了解拔节期与始穗期喷施不同植物生长调节剂对水稻茎秆形态、抗倒性、生理生化特性及产量的影响,结果发现,拔节期喷施 45.0 mg/L 0.02% 二氢吡吩铁显著降低了基部节间长,增强了

水稻光合及抗氧化能力,提高了抗折力及有效穗数,保证了水稻高产稳产。在始穗期喷施 67.5 mg/L 0.02% 二氢吡吩铁及 15 mg/L 调环酸钙增加了基部节间节粗,增强了水稻光合能力,提高了抗折力及穗粒数,有利于水稻抗倒增产。

参考文献:

- [1] 陈新宝,刘会喜,徐顺文,等. 水稻倒伏的危害程度及应对措施[J]. 中国种业,2010(4):56,58.
- [2] 张存鑫,黄宝林,徐小兰,等. 水稻倒伏原因及防倒对策[J]. 作物杂志,2000(5):19-20.
- [3] 姚金保,张平平,任丽娟,等. 小麦抗倒指数遗传及其与茎秆特性的相关分析[J]. 作物学报,2011,37(3):452-458.
- [4] 徐磊,王大伟,时荣盛,等. 小麦基部节间茎秆密度与抗倒性关系的研究[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):673-679.
- [5] 张志才. 作物倒伏成因分析及抗倒对策研究进展[J]. 耕作与栽培,2006(4):1-2,26.
- [6] 杨文飞,许美刚,贾艳艳,等. 劲丰谷德与多效唑对水稻抗倒及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):88-90.
- [7] 徐新娟,黄中文,孙海燕. 烯效唑在现代植物生产中的应用[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2007,35(4):47-49.
- [8] 冯己. 调环酸钙合成工艺研究及其类似物合成[D]. 郑州:郑州大学,2011.
- [9] 文廷刚,王伟中,杨文飞,等. 水稻茎秆形态特征与抗倒伏能力对外源植物生长调节剂的响应差异[J]. 南方农业学报,2020,51(1):48-55.
- [10] 赵黎明,萧长亮,顾春梅,等. 植物生长调节剂在水稻倒伏上的研究进展[J]. 北方水稻,2009,39(3):114-117.
- [11] 荣勇. 水稻拔节前施用 5% 调环酸钙的抗倒增产试验[J]. 现代农业科技,2015(13):132-133.
- [12] 周骏辉,孙文忠,董梦雅,等. 不同化控药剂对水稻抗倒及产量结构的影响[J]. 现代农业科技,2019(20):5-6,8.
- [13] 丁国霞. 劲丰谷德与矮壮丰对淮安市淮阴区水稻抗倒性及产量的影响[J]. 现代农业科技,2017(20):3-4.
- [14] 胡振阳,程宏,卢臣,等. 施氮量和植物生长调节剂对优质稻抗倒能力及产量的调控效应[J]. 江苏农业科学,2021,49(6):52-60.
- [15] 陈黎明. 植物生长调节剂二氢吡吩铁[J]. 农药科学与管理,2018,39(3):67-68.
- [16] 郑乐娅,吴文革,阎川,等. 植物生长调节剂对水稻光合速率和产量构成因素的影响[J]. 作物杂志,2011(3):63-66.
- [17] 衣政伟,朱海鹏,徐颂伟,等. “劲丰谷德”对小麦抗倒性和产量的影响[J]. 大麦与谷类科学,2021,38(5):41-47.
- [18] 石文军,孙妍,刘强,等. 抗倒剂对小麦抗倒伏能力、长势及产量的影响[J]. 农业科技通讯,2021(9):108-110.
- [19] 韩炜. 不同种植密度下配施多效唑对水稻抗倒性、光合特性及产量性状的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [20] 闻祥成,田华,潘圣刚,等. 叶面喷施植物生长调节剂对水稻产量及叶片保护酶活性的影响[J]. 西南农业学报,2015,28(2):550-555.