

胡 蕾, 孙一标, 朱静雯, 等. 二氢吡吩铁对不同播期小麦产量及生长特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(10): 1834-1843.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.10.008

二氢吡吩铁对不同播期小麦产量及生长特性的影响

胡 蕾¹, 孙一标¹, 朱静雯¹, 季英华², 朱国永¹, 魏利辉², 王爱民¹

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002; 2. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了探究新型植物生长调节剂二氢吡吩铁(ICE6)对小麦生长发育和产量的影响, 本研究以扬麦 25 和镇麦 12 号为试验材料, 设置 4 个不同播期[2020 年 11 月 3 日(播期 I)、2020 年 11 月 8 日(播期 II)、2020 年 11 月 13 日(播期 III)、2020 年 11 月 18 日(播期 IV)], 以 0.02% 二氢吡吩铁可溶性粉剂拌种, 并在小麦破口前 7 d 和抽穗扬花期用 0.02% 二氢吡吩铁可溶性粉剂 5 000 倍液叶面喷施, 调查分析 4 个播期小麦生育期、田间农艺性状、产量及其构成要素、SPAD 值以及花后灌浆速率。结果表明, 与对照(CK)相比, 经过 0.02% 二氢吡吩铁可溶性粉剂处理后, 2 个小麦品种第 I 播期和第 II 播期处理基本苗和越冬苗显著增加, 第 I 播期处理株高显著降低, 第 I 播期处理第 2 节间和第 IV 播期处理总节间长度显著缩短; 扬麦 25 第 II 播期处理、镇麦 12 号第 I 播期处理小麦抽穗期叶绿素含量显著提高, 延缓了叶片的衰老, 为籽粒灌浆提供了充足的光合产物, 进而提高单位面积小麦产量。

关键词: 二氢吡吩铁; 小麦; 生育期; 产量; 生长特性

中图分类号: S482.8; S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2024)10-1834-10

Effects of iron chlorine e6 on yield and growth characteristics of wheat at different sowing dates

HU Lei¹, SUN Yibiao¹, ZHU Jingwen¹, JI Yinghua², ZHU Guoyong¹, WEI Lihui², WANG Aimin¹

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China; 2. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to explore the effects of the new plant growth regulator iron chlorine e6 (ICE6) on the growth and yield of wheat, this study used Yangmai 25 and Zhenmai 12 as experimental materials. Four different sowing dates of November 3, 2020 (sowing date I), November 8, 2020 (sowing date II), November 13, 2020 (sowing date III), November 18, 2020 (sowing date IV) were set, and 0.02% iron chlorine e6 soluble powder was used for seed dressing. In the period of seven days before the break of wheat and heading and flowering stage, 5 000 times solution of 0.02% iron chlorine e6 soluble powder was sprayed on the leaves of wheat. The growth period, field agronomic traits, yield and its components, SPAD value and post-anthesis grain filling rate of wheat under four sowing date treatments were investigated and analyzed. The results showed that compared with the control (CK), the number of basic seedlings and overwintering seedlings of the two wheat varieties increased significantly in the first and second sowing dates under the treatment of 0.02% iron chlorine e6

收稿日期: 2023-11-15

基金项目: 江苏省农业科技自主创新项目[CX(21)1011]; 江苏省重点研发计划项目[BE2020319]

作者简介: 胡 蕾(1993-), 女, 江苏高邮人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为作物栽培学与耕作学。(E-mail) 1533710521@qq.com

通讯作者: 王爱民, (E-mail) wamynky@163.com

soluble powder, the plant height in the first sowing date treatment decreased significantly, and the length of the second internode in the first sowing date treatment and the total internode length in the fourth sowing date treatment were significantly shortened. The chlorophyll content of Yangmai 25 at heading stage under the second sowing date treatment and Zhenmai 12 at heading stage under the first

sowing date treatment was significantly increased, which delayed the senescence of leaves and provided sufficient photosynthetic products for grain filling, thereby increasing the yield of wheat per unit area.

Key words: iron chlorine e6; wheat; growth period; yield; growth characteristics

小麦是中国重要的粮食作物之一,种植面积和总产量均居中国粮食作物第2位,维持小麦种植规模和产量稳定对保障中国粮食安全有着重要作用^[1]。近年来,小麦种植面积不断减少,而市场对小麦的需求量却在不断上升^[2]。纵观全球小麦生产情况也不容乐观,据估计,未来全球小麦产量必须以每年1%的速度增长才能满足气候变化等一系列风险挑战^[3],因此提高小麦产量刻不容缓。江苏省淮河以北麦区以玉米-小麦或水稻-小麦等轮作制度为主,小麦播种期可从每年的10月上旬持续到12月上旬,主要集中在11月份。目前,大田生产上水稻晚收导致小麦晚播,小麦播期晚则冬前生长期短,前期积温不足,导致小麦有效分蘖降低,成穗率与穗粒数均减少、千粒重下降^[4],由此可见,产量与播期密切相关。

植物生长调节剂的应用作为现代农业生产中重要的栽培管理措施之一,在改善作物生长特性、增加作物产量方面有着显著效果^[5]。二氢吡吩铁可溶性粉剂是一种新型植物生长调节剂,具有增强作物抗逆性、提高发芽率、促进根系生长等作用^[6]。二氢吡吩铁主要通过抑制叶绿素酶活性从而延缓叶绿素的降解以及提高光系统Ⅱ的最大光化学效率,从而提高植物的光合作用效率;还可以通过促进根细胞内一氧化氮的生成,降低吡啶乙酸氧化酶的活性来促进根系生长和养分吸收,提高作物产量^[7]。同时,二氢吡吩铁能激发植物的基础免疫反应,诱导多条抗病信号传导途径,增强作物对生物及非生物胁迫的耐受性。例如,二氢吡吩铁能够促进水稻种子

发芽以及幼苗生长^[8],增强小麦对渍水胁迫的耐受性^[9],提高小麦苗期的耐寒性^[10],延长葡萄采摘后的保鲜期^[11]等。二氢吡吩铁主要有拌种和喷雾两种处理方式,适宜处理时间和剂量则因作物的种类和生长阶段而定。如花生可分别在种植过程中和采摘后进行处理^[12],水稻、小麦、油菜等可在不同生长阶段进行处理^[13-15]。水稻、油菜的登记使用剂量为0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂稀释10 000~20 000倍;小麦、大豆、棉花、葡萄的登记使用剂量为0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂稀释5 000~10 000倍。前人对二氢吡吩铁的研究大多在逆境条件下其对作物的影响,或在正常生长周期、正常温光条件下对作物产量和品质的影响。本研究则是根据生产实践中因气候、耕作栽培措施等导致上茬作物收获日期不定的现实问题,设置4个不同的小麦播期,探究二氢吡吩铁对不同播期小麦生长状况的影响,为生产实践中二氢吡吩铁的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田块

本试验于2020年11月至2021年6月在江苏沿海地区农业科学研究所南洋试验场(120°29'E, 33°15'N)进行,土壤类型为沙壤土。

1.2 供试品种、试剂材料及使用方法

供试品种为扬麦25和镇麦12号;试剂材料为0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂,由南京百特生物工程有限公司提供;使用方法见表1。

表1 二氢吡吩铁在小麦生产中的使用时间与方法

Table 1 Using time and method of iron chlorine e6 in wheat production

生育期	使用剂量	使用方法	备注
播种期	试剂:种子(重量比)=1:5 000	拌种	拌种阴干
孕穗期	45 g/hm ² 0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂,对水量:450 kg/hm ²	叶面喷施	破口前7 d,均匀喷雾
抽穗扬花期	45 g/hm ² 0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂,对水量:450 kg/hm ²	叶面喷施	均匀喷雾

1.3 试验设计

本试验设置对照组(CK)和处理组(T),设4个播种期,分别为2020年11月3日(播期Ⅰ)、2020

年11月8日(播期Ⅱ)、2020年11月13日(播期Ⅲ)和2020年11月18日(播期Ⅳ)。采用小区条播方式,播种前用划行器标记行距,行距设定为

25.0 cm,开沟深度为 4.0 cm,墒沟宽 50.0 cm。扬麦 25 对照组播种 31 行,4 个播期每个播期分别播种 31 行;镇麦 12 号对照组播种 31 行,4 个播期每个播期分别播种 31 行。试验设置 3 个重复。田间水肥等管理按小麦高产栽培技术进行。

1.4 指标测定

在每个小区选择一个固定区域,用于定点调查小麦茎蘖动态、株高、SPAD 值及灌浆程度等指标。

1.4.1 田间农艺性状调查 观察记录小麦关键生育期,包括播种期、越冬期、拔节期、抽穗期和成熟期;数取每个小区定点区域内的茎蘖数量。小麦成熟期在每个小区定点区域用直尺随机测量 10 株小麦株高、节间长度及穗长,用游标卡尺测量每株每个节间的茎秆直径。

1.4.2 产量测定 2 个小麦品种 4 个播期分别在成熟后适时收获,并称量实际产量。

1.4.3 SPAD 值测定 从小麦孕穗期开始到成熟期结束,每隔 7~10 d,在定点区域选取叶片完好、株型相似的 10 株小麦,用 SPAD 仪(型号为 SPAD502)夹取距剑叶叶尖 1/3 处,测量叶片 SPAD 值并计算平均值。

1.4.4 千粒重及灌浆速率计算 小麦扬花后 7 d 开

始每隔 7~10 d 每个小区随机取 10 个穗头,105 ℃ 杀青 30 min,60~80 ℃ 烘干至恒重,测量籽粒烘干后干重,计算灌浆速率^[16]。

2 结果与分析

2.1 二氢卟吩铁对不同播期小麦生育期的影响

由表 2 可见,随着播期推迟 2 个小麦品种生育期呈逐渐缩短趋势。施用二氢卟吩铁后,2 个小麦品种 4 个播期的生育期与 CK 相比均有缩短。与不施用二氢卟吩铁对照相比,施用二氢卟吩铁后,扬麦 25 在播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ处理生育期分别缩短了 1 d、2 d、2 d、1 d,其中播期Ⅰ处理播种期-拔节期、拔节期-抽穗期都缩短了 1 d,播期Ⅱ处理拔节期-抽穗期、抽穗期-成熟期都缩短了 1 d,播期Ⅲ处理播种期-拔节期、抽穗期-成熟期都缩短了 1 d,播期Ⅳ处理播种期-拔节期缩短了 1 d;与不施用二氢卟吩铁对照相比,施用二氢卟吩铁后,镇麦 12 号的播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ处理生育期都缩短了 1 d,播期Ⅳ处理生育期缩短了 3 d,其中播期Ⅰ处理拔节期-抽穗期缩短 2 d,播期Ⅱ处理播种期-拔节期、拔节期-抽穗期都缩短 1 d,播期Ⅲ处理播种期-拔节期缩短 1 d,播期Ⅳ处理播种期-拔节期、抽穗期-成熟期分别缩短 1 d 和 2 d。

表 2 二氢卟吩铁对不同播期小麦生育期的影响

Table 2 Effects of iron chlorine e6 on wheat growth period at different sowing dates

品种名称	播期	处理	播种期 (年-月-日)	拔节期 (年-月-日)	抽穗期 (年-月-日)	成熟期 (年-月-日)	播种期-拔 节期(d)	拔节期-抽 穗期(d)	抽穗期-成 熟期(d)	生育期 (d)
扬麦 25	Ⅰ	CK	2020-11-03	2021-03-10	2021-04-10	2021-05-10	127	31	44	202
		T	2020-11-03	2021-03-09	2021-04-08	2021-05-23	126	30	45	201
	Ⅱ	CK	2020-11-08	2021-03-14	2021-04-13	2021-05-26	126	30	43	199
		T	2020-11-08	2021-03-14	2021-04-12	2021-05-24	126	29	42	197
	Ⅲ	CK	2020-11-13	2021-03-18	2021-04-14	2021-05-28	125	27	44	196
		T	2020-11-13	2021-03-17	2021-04-13	2021-05-26	124	27	43	194
	Ⅳ	CK	2020-11-18	2021-03-21	2021-04-16	2021-05-30	123	26	44	193
		T	2020-11-18	2021-03-20	2021-04-15	2021-05-29	122	26	44	192
镇麦 12 号	Ⅰ	CK	2020-11-03	2021-03-11	2021-04-09	2021-05-25	128	29	46	203
		T	2020-11-03	2021-03-11	2021-04-07	2021-05-24	128	27	47	202
	Ⅱ	CK	2020-11-08	2021-03-15	2021-04-14	2021-05-26	127	30	42	199
		T	2020-11-08	2021-03-14	2021-04-12	2021-05-25	126	29	43	198
	Ⅲ	CK	2020-11-13	2021-03-19	2021-04-15	2021-05-28	126	27	43	196
		T	2020-11-13	2021-03-18	2021-04-14	2021-05-27	125	27	43	195
	Ⅳ	CK	2020-11-18	2021-03-23	2021-04-17	2021-06-01	125	25	45	195
		T	2020-11-18	2021-03-22	2021-04-16	2021-05-29	124	25	43	192

播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别表示播种期为 2020 年 11 月 3 日、2020 年 11 月 8 日、2020 年 11 月 13 日、2020 年 11 月 18 日。CK:对照;T:二氢卟吩铁处理。

2.2 二氢吡吩铁对不同播期小麦产量及构成要素的影响

从表 3 可知,2 个小麦品种 4 个播期处理中经二氢吡吩铁处理后产量与不施用二氢吡吩铁对照相比均有提升。其中,扬麦 25 播期 I、II、III、IV 处理中施用二氢吡吩铁处理的产量分别与不施用二氢吡吩铁对照相比提高了 1.77%、2.38%、2.08%、3.77%,且播期 II、IV 处理中施用二氢吡吩铁处理和对照差异显著;播期 IV 处理中施用二氢吡吩铁处理

的有效穗数与 CK 相比显著增加;4 个播期处理中施用二氢吡吩铁处理的千粒重与对照相比均增加,且播期 II、III、IV 处理中施用二氢吡吩铁处理的千粒重比对照增加显著。镇麦 12 号播期 I、II、III、IV 处理中施用二氢吡吩铁处理的产量与 CK 相比分别提高了 2.54%、1.42%、2.21% 和 3.06%;播期 I 处理中施用二氢吡吩铁处理的穗粒数以及 4 个播期处理中施用二氢吡吩铁处理的千粒重与对照相比均显著增加。

表 3 二氢吡吩铁对不同播期小麦产量及构成因素的影响

Table 3 Effects of iron chlorine e6 on wheat yield and its components at different sowing dates

品种名称	播期	处理	有效穗数 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	穗粒数 (粒)	千粒重 (g)	产量 (t/hm ²)
扬麦 25	I	CK	505.5abc	39.5ab	48.8a	8.183a
		T	512.8a	39.6ab	49.2a	8.328a
	II	CK	503.8abc	37.1b	45.8b	7.806c
		T	507.0ab	39.3ab	48.4a	7.992b
	III	CK	497.3bc	38.6ab	42.2c	7.452d
		T	499.9bc	39.4ab	45.1b	7.607d
	IV	CK	481.8d	39.8ab	39.8d	6.814f
		T	494.7c	41.2a	42.9c	7.071e
镇麦 12 号	I	CK	437.8ab	39.5b	54.9c	8.296b
		T	459.9a	43.7a	57.4a	8.507a
	II	CK	433.0ab	39.6b	53.7d	8.113c
		T	434.0ab	41.2ab	56.0b	8.228bc
	III	CK	418.5b	39.8b	53.2e	7.690e
		T	430.9b	40.1b	55.8b	7.860d
	IV	CK	418.3b	36.0c	52.3f	7.289g
		T	434.7ab	38.4bc	54.0d	7.512f

播期 I、II、III、IV 分别表示播种期为 2020 年 11 月 3 日、2020 年 11 月 8 日、2020 年 11 月 13 日、2020 年 11 月 18 日。CK:对照;T:二氢吡吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 二氢吡吩铁对不同播期小麦茎蘖动态的影响

由表 4 可知,扬麦 25 第 I、II、III 播期处理中和镇麦 12 号第 I、III 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的基本苗显著高于 CK;扬麦 25 第 I、II、III 播期处理中和镇麦 12 号第 I、II、IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的越冬苗显著高于 CK;扬麦 25 第 IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的有效穗数显著高于 CK。

2.4 二氢吡吩铁对不同播期小麦株高、节间长度及穗长的影响

由表 5 可知,扬麦 25 第 I、第 IV 播期以及镇

麦 12 号第 I、II、III、IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的株高与 CK 相比降低显著。扬麦 25 第 I 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 1 节间和镇麦 12 号第 II、第 IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 1 节间长度与 CK 相比降低显著,扬麦 25 第 I、第 II 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 2 节间和镇麦 12 号第 I、II、III、IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 2 节间长度均显著短于 CK。扬麦 25 第 I、第 IV 播期处理中和镇麦 12 号第 II、III、IV 播期处理中施用二氢吡吩铁处理的总节间长均显著短于 CK。

表 4 二氢吡吩铁对不同播期小麦茎蘖动态的影响

Table 4 Effects of iron chlorine e6 on tiller dynamics of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	基本苗 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	越冬苗 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	高峰苗 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	有效穗数 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	成穗率 (%)
扬麦 25	I	CK	322.9c	1 001.6b	1 221.9a	505.5abc	41.36b
		T	382.3b	1 088.2a	1 231.0a	512.8a	41.66b
	II	CK	281.6d	945.3c	1 147.8ab	503.8abc	43.89ab
		T	328.1c	1 000.5b	1 137.6ab	507.0ab	44.56ab
	III	CK	326.8c	781.1e	1 089.2bc	497.3bc	45.66a
		T	430.1a	884.6d	1 086.2bc	499.9bc	46.02a
	IV	CK	428.8a	683.4f	1 028.4c	481.8d	46.85a
		T	445.6a	735.4ef	1 052.4bc	494.7c	47.01a
镇麦 12 号	I	CK	201.5e	836.2b	1 163.9a	437.8ab	37.62b
		T	369.4b	946.2a	1 208.8a	459.9a	38.04b
	II	CK	304.8c	752.9c	1 057.8b	433.0ab	40.93b
		T	337.1c	824.8b	1 058.3b	434.0ab	41.01b
	III	CK	260.9d	645.1d	917.4c	418.5b	45.62a
		T	316.4c	663.6d	925.2c	430.9b	46.56a
	IV	CK	397.8ab	356.8f	855.8c	418.3b	48.90a
		T	423.7a	452.7e	883.1c	434.7ab	49.22a

播期 I、II、III、IV 分别表示播种期为 2020 年 11 月 3 日、2020 年 11 月 8 日、2020 年 11 月 13 日、2020 年 11 月 18 日。CK;对照;T;二氢吡吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 二氢吡吩铁对不同播期小麦株高、节间长度及穗长的影响

Table 5 Effects of iron chlorine e6 on plant height, internode length and ear length of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	株高 (cm)	节间长 (cm)						穗长 (cm)
				总节间长	穗下节间长	第 4 节间	第 3 节间	第 2 节间	第 1 节间	
扬麦 25	I	CK	95.8a	87.1a	31.4a	25.0a	13.6ab	11.3a	5.9a	8.7a
		T	89.3cd	80.7cd	31.5a	24.2ab	12.8b	8.8d	3.4c	8.6ab
	II	CK	91.7bc	83.0bcd	28.8b	24.6ab	13.1b	11.4a	5.1ab	8.7a
		T	89.1cd	80.5cd	29.1b	23.8b	13.1b	9.8bc	4.7b	8.6ab
	III	CK	93.0b	84.6b	31.0a	24.2ab	12.9b	10.5ab	6.0a	8.4abc
		T	91.4bc	83.5b	30.5a	24.7a	12.8b	10.2b	5.2ab	7.9c
	IV	CK	91.3bc	82.8bc	30.5a	24.1ab	13.5ab	9.6bcd	5.0ab	8.5ab
		T	88.3d	80.1d	29.0b	23.7b	14.1a	9.0cd	4.2bc	8.2bc
镇麦 12 号	I	CK	92.3a	83.4a	32.8a	22.2ab	12.3b	10.6a	5.4b	8.9a
		T	89.1bc	81.7a	31.0b	22.7a	13.4a	9.4b	5.2b	8.8a
	II	CK	91.5ab	82.4a	30.7bc	22.2ab	13.6a	9.1bc	6.9a	9.1a
		T	86.8c	77.8b	29.3cd	22.1ab	13.1ab	8.0d	5.3b	9.0a
	III	CK	91.0ab	82.0a	30.3bcd	22.0ab	13.1ab	10.4a	6.2ab	9.1a
		T	86.9c	78.2b	29.0d	22.2ab	13.4a	8.5cd	5.1b	8.7a
	IV	CK	91.9ab	83.1a	30.9b	21.9b	13.2ab	10.2a	6.9a	8.8a
		T	88.0c	79.3b	30.8bc	21.1c	13.5a	8.9bc	5.1b	8.7a

播期 I、II、III、IV 分别表示播种期为 2020 年 11 月 3 日、2020 年 11 月 8 日、2020 年 11 月 13 日、2020 年 11 月 18 日。CK;对照;T;二氢吡吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 二氢吡吩铁对不同播期小麦茎粗的影响

由表 6 可知,扬麦 25 第Ⅱ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 1 节间,第Ⅰ播期和第Ⅲ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的第 2 节间,第Ⅱ播期处理中施用二

氢吡吩铁处理的穗下节间茎秆直径与 CK 相比差异显著,分别较 CK 增加了 6.9%、6.9%、5.9%和 7.4%;镇麦 12 号第Ⅰ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的穗下节间茎秆直径比 CK 显著增加了 16.0%。

表 6 二氢吡吩铁对不同播期小麦茎粗的影响

Table 6 Effects of iron chlorine e6 on stem diameter of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	节间茎秆直径(cm)				
			穗下节间	第 4 节间	第 3 节间	第 2 节间	第 1 节间
扬麦 25	Ⅰ	CK	0.393c	0.518a	0.535a	0.447c	0.370c
		T	0.423abc	0.523a	0.514abc	0.478ab	0.374bc
	Ⅱ	CK	0.419bc	0.519a	0.499abc	0.462abc	0.378bc
		T	0.450a	0.546a	0.528ab	0.474abc	0.404a
	Ⅲ	CK	0.406bc	0.521a	0.493abc	0.460bc	0.386abc
		T	0.415bc	0.531a	0.507abc	0.487a	0.399ab
	Ⅳ	CK	0.432ab	0.511a	0.487bc	0.448c	0.377bc
		T	0.413bc	0.520a	0.482c	0.455bc	0.378bc
镇麦 12 号	Ⅰ	CK	0.437c	0.568b	0.523c	0.467c	0.400c
		T	0.507ab	0.559b	0.523c	0.488bc	0.414bc
	Ⅱ	CK	0.556a	0.582ab	0.554abc	0.505abc	0.436abc
		T	0.562a	0.591ab	0.548abc	0.521ab	0.438abc
	Ⅲ	CK	0.510ab	0.614a	0.578ab	0.522ab	0.457a
		T	0.511ab	0.594ab	0.584a	0.546a	0.474a
	Ⅳ	CK	0.481bc	0.578ab	0.558abc	0.502abc	0.458a
		T	0.506ab	0.571b	0.531bc	0.523ab	0.450ab

播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别表示播种期为2020年11月3日、2020年11月8日、2020年11月13日、2020年11月18日。CK:对照;T:二氢吡吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.6 二氢吡吩铁对不同播期小麦 SPAD 值的影响

2021 年 4 月 26 日检测结果(表 7)显示,扬麦 25 第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ播期处理中和镇麦 12 号第Ⅰ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦 SPAD 值与 CK 相比差异显著;5 月 6 日检测结果显示,镇麦 12 号第Ⅰ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦 SPAD 值与 CK 相比差异显著;5 月 13 日检测结果显示,扬麦 25 第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ播期处理中和镇麦 12 号第Ⅰ、第Ⅲ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦 SPAD 值与 CK 相比差异显著;5 月 19 日检测结果显示,扬麦 25 第Ⅱ播期处理中和镇麦 12 号第Ⅰ、第Ⅱ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦 SPAD 值与 CK 相比差异显著;5 月 24 日检测结果显示,镇麦 12 号第Ⅱ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦 SPAD 值与 CK 相比差异显著。

2.7 二氢吡吩铁对不同播期小麦千粒重的影响

扬麦 25 第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的花后7~22 d 千粒重均显著高于 CK;镇麦 12 号第Ⅳ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的花后7~22 d 千粒重显著高于 CK。施用二氢吡吩铁处理后,扬麦 25 和镇麦 12 号 4 个播期处理中花后27~42 d 千粒重均显著高于 CK(表 8)。

2.8 二氢吡吩铁对不同播期小麦籽粒灌浆速率的影响

2 个小麦品种 4 个播期花后不同日期检测得到的灌浆速率结果(表 9)显示,扬麦 25 第Ⅳ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦花后 12 d、第Ⅲ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦花后 17 d 以及镇麦 12 号第Ⅱ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小麦花后 12 d、第Ⅱ、第Ⅲ播期处理中施用二氢吡吩铁处理的小

麦花后 17 d,第Ⅰ、第Ⅲ播期处理中施用二氢卟吩铁处理的小麦花后 27 d 灌浆速率显著高于 CK。

表 7 二氢卟吩铁对不同播期小麦 SPAD 值的影响

Table 7 Effects of iron chlorine e6 on SPAD value of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	2021 年不同日期测得的 SPAD 值							
			04-07	04-13	04-20	04-26	05-06	05-13	05-19	05-24
扬麦 25	Ⅰ	CK	53.0a	53.1c	54.6bc	54.2cd	57.6ab	53.7c	41.6c	21.1c
		T	55.3a	57.8a	57.4ab	57.5ab	58.0a	56.7ab	42.5c	23.2c
	Ⅱ	CK	49.1b	52.8c	53.7c	56.1bc	55.0b	53.9c	42.9c	22.4c
		T	53.8a	57.3ab	57.1ab	59.1a	57.9ab	57.2a	45.6ab	24.9c
	Ⅲ	CK	49.7b	53.6c	53.6abc	55.8d	58.2a	55.6bc	43.4bc	28.8bc
		T	48.3b	54.8bc	56.9a	58.3ab	58.8a	57.9a	45.2ab	38.2ab
	Ⅳ	CK	46.7b	55.0bc	56.8abc	58.5ab	58.5a	57.5ab	46.1a	41.2a
		T	49.4b	53.9c	56.9abc	58.7ab	59.0a	58.6a	46.6a	43.6a
镇麦 12 号	Ⅰ	CK	53.2ab	53.8bc	53.8bc	53.9d	53.3a	46.6d	36.4d	9.9d
		T	55.3a	55.7a	56.8a	57.6abc	56.9c	53.9ab	43.5bc	13.0d
	Ⅱ	CK	50.4bc	53.4bc	53.5abc	54.4d	53.5bc	49.9c	40.8c	8.6d
		T	50.9bc	53.7bc	54.0abc	55.8bcd	53.8bc	50.5c	44.9ab	20.8c
	Ⅲ	CK	48.4c	50.6c	51.7c	57.9ab	53.5bc	51.1bc	43.4bc	24.0bc
		T	51.2bc	54.0ab	54.8ab	59.8a	55.3abc	56.5a	45.1ab	28.0abc
	Ⅳ	CK	50.0c	53.2bc	53.4abc	55.2cd	54.3abc	53.8ab	46.6ab	31.1ab
		T	50.7bc	52.9bc	53.6abc	55.8bcd	56.3ab	54.8a	47.2a	35.4a

播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别表示播种期为2020年11月3日、2020年11月8日、2020年11月13日、2020年11月18日。CK:对照;T:二氢卟吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 8 二氢卟吩铁对不同播期小麦花后不同时间千粒重的影响

Table 8 Effects of iron chlorine e6 on 1 000-grain weight of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	千粒重(g)						
			花后 7 d	花后 12 d	花后 17 d	花后 22 d	花后 27 d	花后 32 d	花后 42 d
扬麦 25	Ⅰ	CK	8.3a	11.0b	19.0b	32.2a	40.5b	44.1b	48.6b
		T	8.4a	11.4a	19.4a	32.2a	41.6a	44.7a	49.1a
	Ⅱ	CK	5.9c	8.9d	16.2e	30.2b	38.8c	41.4c	45.7c
		T	7.6b	10.6c	18.1c	32.4a	41.0ab	44.4ab	48.5b
	Ⅲ	CK	3.1e	6.2f	15.7f	29.1c	37.8d	39.5d	43.4e
		T	4.0d	7.2e	17.2d	31.0b	39.3c	41.6c	45.3d
	Ⅳ	CK	2.0f	3.8g	12.7h	26.1d	33.1f	35.7e	39.9f
		T	3.3e	6.1f	15.4g	29.2c	36.8e	39.7d	43.2e
镇麦 12 号	Ⅰ	CK	13.4b	17.6a	25.8a	39.9ab	48.0b	51.8b	54.9d
		T	13.5b	17.5a	25.1b	39.4b	49.5a	54.1a	57.3a
	Ⅱ	CK	14.2a	17.1b	24.4c	38.2c	46.3c	51.2b	53.5f
		T	13.7b	17.5a	26.1a	40.5a	48.2b	53.7a	56.5b
	Ⅲ	CK	10.2c	14.0c	25.9a	39.5b	46.7c	51.2b	53.5f
		T	8.8e	12.7d	25.7a	39.5b	47.9b	53.6a	56.0c
	Ⅳ	CK	8.0f	11.1e	21.3e	35.1e	44.2d	50.0c	52.4g
		T	9.3d	12.6d	23.1d	36.9d	46.0c	51.7b	54.2e

播期Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别表示播种期为2020年11月3日、2020年11月8日、2020年11月13日、2020年11月18日。CK:对照;T:二氢卟吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 9 二氢吡吩铁对不同播期小麦花后灌浆速率的影响

Table 9 Effects of iron chlorine e6 on grain filling rate of wheat at different sowing dates

品种名称	播期	处理	灌浆速率(g/d)					
			花后 12 d	花后 17 d	花后 22 d	花后 27 d	花后 32 d	花后 42 d
扬麦 25	I	CK	0.59a	1.59d	2.57c	1.66ab	0.72a	0.45a
		T	0.54a	1.60d	2.63bc	1.88a	0.63ab	0.44a
	II	CK	0.59a	1.47e	2.79ab	1.72ab	0.53bc	0.43a
		T	0.59a	1.50e	2.86a	1.73ab	0.68ab	0.41ab
	III	CK	0.62a	1.91b	2.68abc	1.73ab	0.35d	0.38ab
		T	0.61a	2.00a	2.75abc	1.67ab	0.45cd	0.37ab
	IV	CK	0.36b	1.79c	2.68abc	1.40c	0.52bc	0.41ab
		T	0.56a	1.85bc	2.77ab	1.53bc	0.57abc	0.35b
镇麦 12 号	I	CK	0.85a	1.63d	2.83a	1.60cd	0.76c	0.31ab
		T	0.80a	1.50e	2.87a	2.01a	0.93bc	0.33a
	II	CK	0.56d	1.47e	2.76a	1.62cd	0.97abc	0.23b
		T	0.77ab	1.72d	2.87a	1.54cd	1.11ab	0.28ab
	III	CK	0.75ab	2.37b	2.72a	1.44d	0.91bc	0.23b
		T	0.76ab	2.60a	2.77a	1.68bc	1.15ab	0.23b
	IV	CK	0.63cd	2.04c	2.75a	1.82b	1.17a	0.23b
		T	0.67bc	2.08c	2.77a	1.81b	1.15ab	0.25ab

播期 I、II、III、IV 分别表示播种期为 2020 年 11 月 3 日、2020 年 11 月 8 日、2020 年 11 月 13 日、2020 年 11 月 18 日。CK:对照;T:二氢吡吩铁处理;同列中相同品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 二氢吡吩铁对小麦生育期及产量的影响

播期推迟会影响小麦生育进程,导致生育期推迟,整个生长周期缩短,生物量积累不够,籽粒灌浆速率改变,从而影响小麦产量^[17-18]。本研究结果表明,随着播期推迟小麦生育期缩短。施用二氢吡吩铁后,2 个小麦品种 4 个播期的生育期与 CK 相比均缩短 1~3 d 不等,特别是播种至拔节阶段,扬麦 25 和镇麦 12 号均有 3 个播期处理缩短。同时,2 个品种第 I 播期和第 II 播期处理的拔节期-抽穗期均缩短。可能是因为施用二氢吡吩铁后提高光系统 II 的最大光化学效率,从而提高了小麦的光合作用效率,加快了前期的生育进程。值得关注的是,二氢吡吩铁可将镇麦 12 号第 IV 播期处理的生育期缩短 3 d,在 2 个品种所有处理中生育期最短,其抽穗期-成熟期缩短明显,由此可知抽穗期-成熟期是整个生育期变化的关键。二氢吡吩铁缩短扬麦 25 第 II、第 III 播期处理和镇麦 12 号第 IV 播期处理抽穗期-成熟期的天数,可能与其调控叶绿素的降解有关,具体原因有

待进一步探究。

二氢吡吩铁是新型植物生长调节剂,能够调节作物生长,对作物增产有一定效果^[19]。本研究结果表明,除扬麦 25 第 I 播期外,两品种其他播期小麦经二氢吡吩铁处理后,产量构成因素中千粒重与 CK 相比均有增加。金彦刚等^[20]研究结果表明,随着播期延迟,小麦生育前期茎蘖数会逐渐减少,与本研究结果一致。施用二氢吡吩铁后,小麦的基本苗和越冬苗增加,保证了后期足够的穗数,在此基础上,结合千粒重和穗粒数的增加,产量三要素更加协调^[21]。这也是施用二氢吡吩铁后小麦增产的主要原因。

3.2 二氢吡吩铁对小麦株高及节间生长的影响

茎秆是小麦植株承受外力的主要部位,也是抗倒伏的主要器官。导致小麦倒伏有外部因素、栽培管理措施和茎秆形态结构 3 个主要因素。茎秆的形态结构主要与植株高度、茎基部第 2 节间长度、茎秆壁厚度、茎秆节间的充实度以及茎秆内物质的含量密切相关^[22]。朱新开等^[23]研究结果表明,小麦株高、基部节间长度、穗下节间长度与倒伏呈正相关关

系,株高较矮且基部节间较短的植株有利于抗倒伏。余泽高等^[24]认为,小麦茎秆越粗,特别是中下部茎秆越粗越不容易倒伏。

植物生长调节剂对小麦茎秆生长有着重要作用^[25-26]。宋佳敏等^[27]用二氢吡吩铁喷施花生后发现,盛花期喷施不同浓度二氢吡吩铁可以显著降低花生倒18节的节间长,降低株高,基部节间增粗,单位面积产量显著提高。本研究结果表明,施用0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂的2个小麦品种与对照相比,第Ⅰ、第Ⅳ播期处理的株高显著降低,第Ⅰ播期处理的第2节间和第Ⅳ播期处理的总节间长度显著缩短。同时,测量不同节间茎秆直径发现,扬麦25第Ⅰ、第Ⅲ播期处理的第2节间茎秆直径显著增加。结合前人研究结果可知,施用二氢吡吩铁处理可使小麦株高降低,茎基部增粗,对提高小麦抗倒伏能力有一定作用。

3.3 二氢吡吩铁对小麦 SPAD 值及花后灌浆速率的影响

众多研究结果表明,叶片 SPAD 值与叶绿素含量之间呈正相关关系^[28],因此可以用叶片的 SPAD 值反映叶绿素的含量水平。目前,测量植株叶绿素含量的方法主要有分光光度法和 SPAD 法。应用 SPAD 叶绿素仪测量叶绿素含量方便快捷,不需要将叶片从植株上分离下来^[29]。SPAD 值的大小也会受不同因素的影响,不同品种与基因型、叶片的测量位置以及外界的环境因素都能造成 SPAD 值的波动^[30]。前人研究结果表明,SPAD 值的高低与产量密切相关^[31]。张蓓蓓等^[32]探究 8 个不同基因型小麦的叶绿素 SPAD 值、产量以及生物量等 7 个指标的差异性与相关性,结果发现不同基因型之间小麦的 SPAD 值差异显著;葛君等^[33]研究发现,不同氮素用量对小麦光合特性、SPAD 值、碳氮代谢相关酶活性、籽粒产量和蛋白质含量影响显著。小麦籽粒的形成不仅受基因型的影响,还受到多重因素的综合影响。本试验在二氢吡吩铁拌种以及破口前 7 d 以及抽穗扬花期叶面喷施二氢吡吩铁后发现,与对照相比,扬麦 25 在第Ⅱ播期处理中 6 个日期(2021 年 4 月 7 日、4 月 13 日、4 月 20 日、4 月 26 日、5 月 13 日、5 月 19 日)测得的 SPAD 值显著增加;镇麦 12 号在第Ⅰ播期处理中 6 个日期(2021 年 4 月 13 日、4 月 20 日、4 月 26 日、5 月 6 日、5 月 13 日、5 月 19 日)测得的 SPAD 值显著增加。保证了小麦抽穗灌

浆期有充足的叶绿素进行光合作用,提高了籽粒的灌浆速率,有效提高了千粒重,从而增加了小麦单位面积产量。

4 结 论

用 0.02%二氢吡吩铁可溶性粉剂对扬麦 25 和镇麦 12 号 4 个不同播期处理的小麦进行拌种以及破口前 7 d 以及抽穗扬花期叶面喷施处理,与对照相比,处理后的 2 个小麦品种生育期缩短,第Ⅰ播期和第Ⅱ播期处理基本苗和越冬苗显著增加,第Ⅰ播期处理株高显著降低,第Ⅰ播期处理第 2 节间和第Ⅳ播期处理总节间长度显著缩短;扬麦 25 第Ⅱ播期处理 6 个日期(2021 年 4 月 7 日、4 月 13 日、4 月 20 日、4 月 26 日、5 月 13 日、5 月 19 日)测得的 SPAD 值显著增加;镇麦 12 号第Ⅰ播期处理 6 个日期(2021 年 4 月 13 日、4 月 20 日、4 月 26 日、5 月 6 日、5 月 13 日、5 月 19 日)测得的 SPAD 值显著增加;施用二氢吡吩铁花后 27 d、32 d、42 d 2 个品种千粒重均显著增加。本研究结果为植物生长调节剂二氢吡吩铁在小麦生长发育中的应用提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 严如玉,赵希梅,向风云,等.中国小麦优势区域生产格局及施肥现状研究[J].麦类作物学报,2024,44(2):230-241.
- [2] 曾伟.我国粮食安全形势、风险隐患与应对策略[J/OL].中国延安干部学院学报,2023,16(4):70-76. DOI: 10.16223/j.cnki.cn61-1456/c.20230726.003.
- [3] SHEWRY P R, HEY S J. The contribution of wheat to human diet and health[J]. Food and Energy Security, 2015, 4(3): 178-202.
- [4] 刘红杰,倪永静,陈玉霞,等.播期和播量对冬小麦国麦 301 农艺性状及产量的影响[J].江苏农业科学,2017,45(14):49-53.
- [5] 陆佩玲,陈京都,唐建鹏,等.植物生长调节剂在小麦上的应用研究进展[J].大麦与谷类科学,2023,40(1):1-7.
- [6] 陈洋,王乐天,李文珂,等.二氢吡吩铁溶液的基本性质初探[J].南京师范大学学报(自然科学版),2020,43(1):143-148.
- [7] 李思雨.二氢吡吩铁诱导果蔬抗性和保鲜作用评估及机理初探[D].淮安:淮阴工学院,2023.
- [8] XIE Y L, WEI L H, JI Y H, et al. Seed treatment with iron chlorine E6 enhances germination and seedling growth of rice[J]. Agriculture, 2022, 12(2): 218.
- [9] 楚燕蒙,毛颖超,蔡剑,等.二氢吡吩铁对小麦渍水胁迫耐性的影响[J].中国农业科学,2023,56(10):1848-1858.
- [10] 李可,杨文飞,杜小凤,等.叶面喷施二氢吡吩铁提高小麦苗期耐寒性效果初探[J].南方农业,2023,17(2):7-9.
- [11] 李思雨,徐士兵,魏依桐,等.二氢吡吩铁对葡萄采后保鲜效果

- 的影响[J]. 江苏农业学报,2023,39(5):1240-1246.
- [12] 陈嘉敏. 二氢吡吩铁影响花生生长发育及产量品质形成的生理机制[D]. 淮安:淮阴工学院,2023.
- [13] 夏华兴,唐庆伟,刘维新,等. 二氢吡吩铁对水稻稻瘟病和纹枯病防治减量化用药效果试验[J]. 南方农业,2023,17(16):56-59.
- [14] 李 可,顾大路,杜小凤,等. 二氢吡吩铁可溶粉剂不同使用方式及用量对小麦生长的影响[J]. 中国农学通报,2024,40(3):33-40.
- [15] 吴承东,檀时山,周瑞雯,等. 0.02%二氢吡吩铁可溶粉剂对油菜植株抗低温能力和产量的影响初探[J]. 上海农业科技,2023(3):160-162.
- [16] 安晓东,靖金莲,刘玲玲,等. 花后高温对晋南冬小麦籽粒灌浆速率的影响[J]. 山西农业科学,2018,46(9):1444-1447,1464.
- [17] LI X D, ZHANG D Q, WANG H F, et al. Impact of temperature increment before the over-wintering period on growth and development and grain yield of winter wheat[J]. The Journal of Applied Ecology,2015,26(3):839-846.
- [18] 丁位华,王 丹,李婷婷,等. 播期、密度对小麦物质转运和籽粒灌浆的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):48-52.
- [19] 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.
- [20] 金彦刚,丁锦峰,袁 权,等. 播期和密度对江苏淮北强筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2022,38(18):1-7.
- [21] 丁锦峰. 稻茬小麦超高产群体形成机理与调控[D]. 扬州:扬州大学,2013.
- [22] 黄迎光,郑以宏,袁永胜,等. 倒伏时期和倒伏程度对小麦产量的影响[J]. 山东农业科学,2014,46(6):51-53,58.
- [23] 朱新开,王祥菊,郭凯泉,等. 小麦倒伏的茎秆特征及对产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报,2006(1):87-92.
- [24] 余泽高,李志新,严 波. 小麦茎秆机械强度与若干性状的相关性研究[J]. 湖北农业科学,2003(4):11-14.
- [25] 申若琳,赵延勃,李 平,等. 植物生长调节剂对小麦品种天麦166 性状和产量的影响[J]. 农业科技通讯,2022(9):40-42.
- [26] 朱占华. 植物生长调节剂对小麦茎秆抗倒伏能力及其产量和品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [27] 宋佳敏,尤 杰,文章荣,等. 二氢吡吩铁和调环酸钙对花生抗倒性及产量的影响[J]. 南方农业,2023,17(2):1-3.
- [28] 王 娟,韩登武,任 岗,等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学,2006(3):167-170.
- [29] 乔润雨,刘文锋,刘泽群,等. 绿色蔬菜叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 国土与自然资源研究,2018(1):80-82.
- [30] 邓 霞. 小麦灌浆期 SPAD 值对产量的影响研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2020.
- [31] GULER S, OZCELIK H. Relationships between leaf chlorophyll and yield related characters of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Asian Journal of Plant Sciences,2007,6(4):700-703.
- [32] 张蓓蓓,张 辉,李美娟,等. 黄土旱塬不同基因型小麦光合性能、水分利用效率及生长差异分析[J]. 陕西农业科学,2017,63(9):5-8,17.
- [33] 葛 君,姜晓君. 施氮量对小麦旗叶光合特性、SPAD 值、籽粒产量及碳氮代谢的影响[J]. 天津农业科学,2019,25(3):1-4.

(责任编辑:黄克玲)