

韦丁一,高少凡,苏海英,等. 赤霉素及其抑制剂对油菜抗倒伏性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(12):69-74.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.12.011

赤霉素及其抑制剂对油菜抗倒伏性的影响

韦丁一¹,高少凡¹,苏海英²,谢伶俐¹,许本波¹

(1.长江大学生命科学学院,湖北荆州 434025; 2.湖北省石首市农技推广中心,湖北石首 434499)

摘要:倒伏严重影响甘蓝型油菜产量,赤霉素及其抑制剂对油菜株高、抗倒伏性和产量具有重要影响,但利用主成分分析法系统研究赤霉素及其抑制剂影响甘蓝型油菜倒伏的较少,因此系统研究赤霉素及其抑制剂对油菜抗倒伏具有重要意义。本试验以7份不同来源甘蓝型油菜为材料,蕾薹期喷施赤霉素和烯效唑,运用相关性分析和主成分分析的方法,研究株型性状与倒伏的相关性及影响倒伏的主要因素。结果表明,油菜的倒伏指数与一次有效分枝高度呈显著负相关,与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关。主成分分析结果表明,根系因子对倒伏指数贡献率最大。喷施赤霉素后,倒伏指数与主花序长度呈显著正相关,与侧根数显著负相关,与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关;而喷施烯效唑后,倒伏指数与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关。综上所述,赤霉素主要是通过增加甘蓝型油菜侧根数,增加植株的节间距以及主花序长度来调控甘蓝型油菜倒伏指数。烯效唑主要是通过增大甘蓝型油菜的一次有效分枝数、茎粗、基枝角、顶枝角,减小植株的节间距来调控油菜倒伏指数。

关键词:油菜;株高;倒伏指数;赤霉素;烯效唑

中图分类号: S634.303;S634.304 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)12-0069-06

油菜是我国重要油料作物,年产量为1 160万t,提供了约55%的国产植物食用油^[1]。2019—2020年,世界油菜最高单产智利单产达到4 050 kg/hm²,加拿大2 299.5 kg/hm²,我国2 040 kg/hm²,比智利低49.6%,比加拿大低11.3%^[2],提高油菜产量、品质,是当前油菜育种的主要目标。倒伏对甘蓝型油菜产量和品质造成重要损失。植株倒伏是一个综

合的、复杂的过程,受到多重因素影响,如植株品种特性、种植密度、肥水管理、田间管理等,倒伏胁迫是由于茎秆在结穗处或以下折断时发生倒伏,或者植株从垂直位置倾斜超过一定程度(30°或45°)时发生根部倒伏^[3]。在生产中,油菜倒伏造成重大产量损失并影响机械化收获。倒伏后形成的隐蔽、高湿环境会加剧菌核病的发生,降低油菜产量和品质。研究表明,开花期倒伏可以造成油菜减产20%~46%,并造成种子的含油量下降^[4]。

赤霉素是一种双萜类化合物,能够打破种子休眠,促进种子萌发,促进植株茎节伸长,开花期施用能促进果实发育^[5-6]。烯效唑是赤霉素的三唑类抑制剂,可有效抑制作物生长的顶端优势,缩短节间

收稿日期:2021-09-04

基金项目:湖北省农业农村厅项目(编号:鄂农油[2020]11号)。

作者简介:韦丁一(1995—),女,河南洛阳人,硕士,主要从事油菜遗传育种研究。E-mail:253232710@qq.com。

通信作者:许本波,博士,教授,主要从事植物生物技术研究。

E-mail:benboxu@yangtzeu.edu.cn。

[17]程前,李广浩,陆卫平,等. 增密减氮提高夏玉米产量和氮素利用效率[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(6):1035-1046.

[18]张建奎. 作物品质分析[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2012.

[19]马鹏,杨志远,李娜,等. 油菜-水稻轮作模式下油菜季氮肥投入与水稻季氮肥运筹对杂交水稻光合生产力及产量的影响[J]. 华南农业大学学报,2020,41(3):23-30.

[20]郭鑫年,纪立东,尹志荣,等. 宁夏引黄灌区氮肥减量对温室辣椒光合特性、产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2020(7):1-9.

[21]刘欢. 化学氮肥减量配施有机肥对白菜产量和品质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.

[22]冯波,刘开昌. 密植条件下氮肥对不同品种夏玉米氮效率及光合作用的影响[J]. 山东农业科学,2018,50(5):76-80,86.

[23]张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.

[24]赵亚南,徐霞,黄玉芳,等. 河南省小麦、玉米氮肥需求及节氮潜力[J]. 中国农业科学,2018,51(14):2747-2757.

[25]朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[26]朱懿,江青山,孙永健,等. 宜香1A系列组合的光合生产及产量形成特点[J]. 杂交水稻,2014,29(4):68-72.

[27]刘金山,戴健,刘洋,等. 过量施氮对旱地土壤碳、氮及供氮能力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):112-120.

并促进矮化^[7]。喷施赤霉素能使茎秆抗性明显减弱,倒伏率增大^[8],喷施烯效唑能降低株高和茎秆重力高度,增加茎粗,提高作物抗倒抗逆能力,降低倒伏率^[9-11]。虽然植物生长调节剂与植株的株高和重心高度之间的关系这方面研究颇多,但对赤霉素及其抑制剂烯效唑影响植物抗倒伏性缺乏系统研究。因此,为明确影响甘蓝型油菜抗倒伏性因素,本试验以抗倒伏能力不同的中欧甘蓝型油菜为材料,利用赤霉素及其抑制剂处理,测定株高、主花序长度、一次有效分枝高度、茎粗、侧根数等性状,利用主成分分析法和相关分析法挖掘影响甘蓝型油菜抗倒伏的主效因子,以期对油菜抗倒伏栽培和品种选育奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

选用7份不同来源的甘蓝型油菜为试验材料,包括4份中国来源的甘蓝型油菜(鄂油杂2号、鄂油杂3号、中油80、华油杂50),3份欧洲来源甘蓝型油菜(Cze 1301、Cze 1302、Cze 1303),材料均由长江大学油菜育种课题组提供。供试材料于2020年10月13日种植于长江大学科技园,小区的面积为6.25 m²(2.5 m×2.5 m),行距20 cm,株距15 cm,2020年12月3日人工间苗,其他管理同一般大田。

1.2 试验处理

烯效唑(S-3307),5%可湿性粉末,来自四川国光农药有限公司;赤霉素(GA₃)从上海同瑞股份有限公司(中国上海)获得,含有75%的有效成分。于2021年1月8日和1月9日,分别对每个小区鄂油杂2号、鄂油杂3号、中油80、华油杂50、Cze 1301、Cze 1302、Cze 1303 蕾薹期叶面分别均匀喷施300 mL 50 mg/L的烯效唑、20 mg/L的赤霉素。每个处理3次重复,以清水处理为对照,持续喷施2 d,时间为17:00—18:00。

1.3 测量指标及方法

1.3.1 形态指标 于角果成熟期前10 d,每重复每材料随机选取生长健壮且长势一致的10株油菜,参照阴涛的方法^[12]测其株高(PH)、主花序长度(MIL)、一次有效分枝高度(VBH)、一次有效分枝数(BN)、茎粗(SD)、根长(RL)、侧根数(LRN)、根鲜质量(RFW)、根干质量(RDW);参照周清元等的方法^[13]测有效分枝节间距(IL);参照汪文祥等的方法^[14]测基枝角(BBA)和顶枝角(TBA)。

1.3.2 倒伏指数 于角果成熟期前10 d,对每一小区的材料进行倒伏指数的调查,参照刘星贝的方法^[15],对油菜主茎与地面的夹角进行倒伏分级,分别是1级:81°~90°;2级:46°~80°;3级:31°~45°;4级:1°~30°;5级:0°,并计算倒伏指数(LI)。

1.4 数据处理

利用WPS Office 2020对数据进行系统性整理,使用IBM SPSS Statistics 20.0进行数据主成分分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 各材料形态指标及倒伏指数

不同处理下各材料形态指标和抗倒伏指数结果见表1、表2。其中,欧洲来源的3个材料Cze 1301、Cze 1302、Cze 1303抗倒伏指数为0,高抗倒伏。中国来源的4个材料的抗倒伏指数由高到低依次为鄂油杂2号、中油80、华油杂50、鄂油杂3号;各材料株高排序为Cze 1302>Cze 1301>中油80>华油杂50>鄂油杂3号>Cze 1303>鄂油杂2号。中国来源油菜品种出现一定程度的倒伏,其倒伏系数为1.35~1.93;而欧洲来源的3份油菜材料直立生长,未出现倒伏现象。

2.2 株型性状与倒伏指数的相关性分析

由表3可知,不同材料的倒伏指数LI与根鲜质量RFW、根干质量RDW呈极显著负相关,与一次有效分枝高度VBH呈显著负相关;株高PH与主花序长度MIL呈显著正相关,与基枝角BBA、顶枝角TBA呈显著负相关;一次有效分枝高度VBH与根长RL呈极显著正相关,与侧根数LRN、根鲜质量RFW、根干质量RDW呈显著正相关;一次分枝数BN与有效分枝节间距IL呈显著正相关,与侧根数LRN呈显著负相关;基枝角BBA与顶枝角TBA呈极显著正相关。各指标之间存在着或大或小的相关性,每个指标至少与另一个指标之间有显著或极显著的相关性,各指标之间存在密切的生物学联系。

2.3 株型性状与倒伏指数的主成分分析

由表4可知,主成分1、2、3、4对倒伏指数的贡献率分别为44.83%、30.58%、12.54%、9.31%,累计贡献率为97.26%,说明这4个主成分覆盖了大部分原始数据信息。主成分1中载荷较高的因子为一次有效分枝高度、根长、根鲜质量、根干质量,说明根系越发达以及一次有效分枝高度越高,倒伏指数越小,油菜更抗倒伏。主成分2中载荷较高的因子

表1 不同处理对不同油菜品种性状的影响

品种	处理	株高 (cm)	一次有效分枝 高度(cm)	主花序 长度(cm)	一次分枝 数(个)	茎粗 (cm)	有效分枝 节间距(cm)	基枝角 (°)	顶枝角 (°)	根长 (cm)	侧根数 (条)	根鲜质量 (g)	根干质量 (g)	倒伏指数
鄂油杂2号	CK	153.25±1.80	87.00±3.34	43.75±2.53	5.50±0.29	1.33±0.10	5.03±0.17	24.75±1.65	24.00±1.35	19.45±0.98	12.25±1.03	13.43±0.30	3.99±0.45	1.93±0.05
	烯效唑	144.25±3.20	79.75±2.29	45.25±1.93	5.00±0.41	1.16±0.08	4.88±0.57	25.00±0.71	25.25±0.75	23.38±1.72	13.00±1.47	14.07±0.68	4.28±0.47	1.50±0.05
	GA ₃	158.50±1.04	88.00±3.34	48.63±1.64	5.50±0.29	1.32±0.11	4.89±0.61	24.50±1.04	25.25±0.85	25.20±1.57	11.75±1.31	15.06±0.57	4.74±0.20	2.02±0.04
鄂油杂3号	CK	163.00±4.81	97.75±3.64	48.25±2.78	4.75±0.25	1.54±0.17	4.50±0.18	25.25±0.48	25.00±0.41	21.83±0.50	16.50±0.65	14.73±0.71	5.12±0.31	1.35±0.08
	烯效唑	155.50±3.01	83.75±3.17	51.75±2.43	5.50±0.87	1.60±0.11	4.29±0.27	24.75±2.25	24.50±1.32	18.33±1.60	17.00±0.41	16.73±1.00	5.41±0.51	1.20±0.05
	GA ₃	168.00±2.27	94.25±3.30	51.35±1.72	6.00±0.00	1.46±0.05	4.48±0.38	24.75±0.85	25.75±1.11	25.28±1.01	18.50±0.29	17.69±0.36	6.04±0.12	1.53±0.06
华油杂50	CK	170.98±5.03	93.50±4.33	50.50±1.94	5.25±0.63	1.30±0.12	6.15±0.45	21.50±0.87	22.00±1.08	22.10±1.67	15.25±1.11	16.53±0.45	6.08±0.28	1.65±0.04
	烯效唑	156.50±5.14	89.50±2.10	41.25±0.85	5.75±0.48	1.43±0.11	5.36±0.53	22.50±1.55	23.50±0.65	22.08±0.37	17.00±0.41	16.48±0.93	6.17±0.42	1.45±0.10
	GA ₃	181.50±3.66	109.50±1.50	51.00±1.58	5.25±0.63	1.43±0.08	5.13±0.49	21.25±0.63	21.75±0.48	24.95±1.00	16.50±0.87	18.37±0.91	6.29±0.09	1.93±0.05
中油80	CK	176.75±6.54	92.00±3.03	55.25±2.87	5.75±0.25	1.40±0.11	6.18±0.37	16.00±0.41	18.50±0.65	22.00±0.46	13.00±0.91	17.39±0.40	5.53±0.30	1.69±0.04
	烯效唑	169.25±5.23	82.00±4.95	64.25±1.89	5.25±0.75	1.40±0.25	5.38±0.34	17.75±1.60	17.50±2.63	25.75±1.49	12.50±0.65	17.94±0.22	6.07±0.30	1.54±0.08
	GA ₃	184.50±1.55	92.75±1.55	67.25±2.87	5.50±0.29	1.30±0.12	5.50±0.49	17.25±0.85	18.00±0.58	23.08±2.06	13.00±0.41	18.15±0.57	6.35±0.13	2.29±0.12
Cze1301	CK	178.50±1.55	106.40±2.59	52.50±1.19	5.00±0.00	1.53±0.02	4.90±0.27	18.25±1.18	21.03±1.34	23.88±3.36	18.25±1.31	40.24±2.25	13.35±0.75	0.00±0.00
	烯效唑	175.38±1.21	103.00±0.71	51.00±0.71	5.75±0.25	1.58±0.02	4.56±0.44	19.35±0.15	21.05±0.76	27.13±0.91	18.75±1.11	41.94±2.09	14.35±0.49	0.00±0.00
	GA ₃	163.50±3.75	106.50±1.19	53.50±2.53	5.25±0.25	1.48±0.02	4.54±0.35	18.25±1.18	20.88±0.81	26.18±1.27	19.50±1.32	38.88±1.18	14.10±0.45	0.00±0.00
Cze1302	CK	181.50±2.33	97.00±1.91	47.50±1.85	5.75±0.25	1.58±0.05	7.84±0.40	20.83±0.63	19.80±0.82	21.86±0.91	13.00±1.08	37.68±1.86	11.39±0.46	0.00±0.00
	烯效唑	175.00±2.04	95.00±1.08	47.93±0.69	5.75±0.25	1.58±0.03	6.69±0.40	21.50±0.44	20.23±0.46	24.08±0.75	15.00±1.08	39.30±0.64	12.78±0.25	0.00±0.00
	GA ₃	184.00±0.91	103.75±2.19	46.68±1.33	6.00±0.00	1.70±0.04	6.72±0.28	21.08±0.17	20.90±0.44	23.55±0.37	16.25±0.25	45.08±1.63	13.39±2.39	0.00±0.00
Cze1303	CK	159.50±2.22	100.33±4.69	42.50±3.20	4.50±0.50	1.17±0.07	4.76±0.31	20.70±0.68	22.50±2.63	22.90±2.89	15.50±0.65	33.11±3.72	11.43±0.41	0.00±0.00
	烯效唑	152.73±4.09	82.77±1.65	49.52±4.59	5.75±0.25	1.38±0.09	4.35±0.34	22.38±0.77	23.25±0.48	23.02±0.21	17.00±0.91	34.95±3.20	12.94±0.55	0.00±0.00
	GA ₃	167.25±1.95	103.64±2.38	46.93±1.43	4.75±0.25	1.41±0.09	4.41±0.35	22.28±1.17	25.00±0.65	26.50±0.65	18.50±0.87	35.75±1.08	12.27±0.21	0.00±0.00

表2 不同品种株高和倒伏指数

材料名称	株高 (cm)	倒伏指数
鄂油杂2号	153.25 ± 1.80	1.93 ± 0.05
鄂油杂3号	163.00 ± 4.81	1.35 ± 0.08
华油杂50	170.98 ± 5.03	1.65 ± 0.04
中油80	176.75 ± 6.54	1.69 ± 0.04
Cze 1301	178.50 ± 1.55	0.00 ± 0.00
Cze 1302	181.50 ± 2.33	0.00 ± 0.00
Cze 1303	159.50 ± 2.22	0.00 ± 0.00

是一次有效分枝数、有效分枝节间距,说明一次有效分枝数和有效分枝节间距增加会使倒伏指数增大,不利于油菜抗倒伏。主成分3中载荷较高的是主花序,说明主花序增多导致倒伏指数变大,油菜易倒伏。主成分4中载荷较高的是茎粗,说明油菜植株茎越粗,倒伏指数越小,不易倒伏。

2.4 激素处理后株型性状与倒伏指数的相关性分析

由表5可知,烯效唑处理后,油菜倒伏指数与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关;株高与一次有

表3 油菜株型性状与倒伏指数的相关性分析

性状	相关系数												
	LI	PH	VBH	MIL	BN	SD	IL	BBA	TBA	RL	LRN	RFW	
PH	-0.391												
VBH	-0.823 *	0.413											
MIL	0.182	0.735 *	0.145										
BN	0.337	0.446	-0.569	0.399									
SD	-0.194	0.593	0.292	0.439	0.327								
IL	-0.133	0.666	-0.208	0.246	0.759 *	0.313							
BBA	0.286	-0.700 *	-0.306	-0.673	-0.296	-0.013	-0.328						
TBA	0.252	-0.809 *	-0.100	-0.616	-0.604	-0.169	-0.688	0.905 **					
RL	-0.687	0.566	0.905 **	0.396	-0.448	0.129	-0.072	-0.588	-0.362				
LRN	-0.431	0.147	0.847 *	0.198	-0.732 *	0.170	-0.534	-0.058	0.245	0.773 *			
RFW	-0.965 **	0.524	0.784 *	-0.034	-0.151	0.248	0.238	-0.430	-0.413	0.680	0.374		
RDW	-0.969 **	0.487	0.842 *	-0.033	-0.269	0.169	0.146	-0.431	-0.364	0.758 *	0.478	0.989 **	

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。下同。

表4 油菜株型性状与倒伏指数主成分分析

性状	载荷值			
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
LI	-0.826	0.312	0.457	-0.065
PH	0.768	0.582	0.143	0.170
VBH	0.862	-0.482	0.107	0.112
MIL	0.396	0.566	0.722	-0.003
BN	-0.124	0.954	-0.136	0.132
SD	0.365	0.292	0.184	0.843
IL	0.239	0.798	-0.406	0.148
BBA	-0.662	-0.478	-0.190	0.516
TBA	-0.578	-0.747	0.048	0.315
RL	0.896	-0.259	0.266	-0.179
LRN	0.549	-0.652	0.480	0.120
RFW	0.880	-0.140	-0.427	0.041
RDW	0.895	-0.236	-0.358	-0.027
特征值	5.828	3.975	1.630	1.210
贡献率(%)	44.83	30.58	12.54	9.31
累积贡献率(%)	44.83	75.41	87.94	97.26

效分枝高度、茎粗呈显著正相关,与基枝角、顶枝角呈显著负相关;一次有效分枝高度与根鲜质量、根干质量呈显著正相关;主花序与顶枝角呈显著负相关;一次有效分枝数与茎粗、侧根数、根干质量呈显著正相关;基枝角与顶枝角呈极显著正相关,与根长呈显著负相关。

由表6可知,喷施赤霉素油菜材料的倒伏指数与主花序长度呈显著正相关,与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关,与侧根数呈显著负相关;株高与有效分枝节间距呈显著正相关,与顶枝角、根长呈显著负相关;主花序长度和有效分枝节间距与根长呈显著负相关;基枝角与顶枝角呈极显著正相关。

对于7个材料,正常条件下倒伏指数与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关,与一次有效分枝高度呈显著负相关;喷施GA₃后,倒伏指数与侧根数呈显著负相关,与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关,与主花序长度呈显著正相关;而喷施GA₃抑

表 5 烯效唑处理后油菜株型性状与倒伏指数相关性分析

性状	相关系数											
	LI	PH	VBH	MIL	BN	SD	IL	BBA	TBA	RL	LRN	RFW
PH	-0.484											
VBH	-0.627	0.760 *										
MIL	0.104	0.416	-0.176									
BN	-0.697	0.463	0.664	-0.290								
SD	-0.476	0.703 *	0.661	0.147	0.701 *							
IL	-0.088	0.495	0.257	-0.058	0.122	0.141						
BBA	0.213	-0.787 *	-0.414	-0.664	-0.202	-0.277	-0.271					
TBA	0.165	-0.817 *	-0.300	-0.733 *	-0.108	-0.315	-0.496	0.933 **				
RL	-0.338	0.590	0.481	0.319	0.020	-0.093	0.267	-0.782 *	-0.662			
LRN	-0.543	0.173	0.613	-0.379	0.797 *	0.606	-0.405	0.068	0.282	-0.137		
RFW	-0.973 **	0.645	0.741 *	-0.013	0.682	0.507	0.182	-0.398	-0.337	0.514	0.497	
RDW	-0.972 **	0.597	0.710 *	-0.027	0.729 *	0.481	0.117	-0.406	-0.314	0.500	0.546	0.991 **

表 6 赤霉素处理后的油菜株型性状与倒伏指数相关性分析

性状	相关系数											
	LI	PH	VBH	MIL	BN	SD	IL	BBA	TBA	RL	LRN	RFW
PH	0.147											
VBH	-0.575	0.306										
MIL	0.728 *	0.559	-0.491									
BN	0.198	0.262	-0.364	0.175								
SD	-0.682	0.309	0.529	-0.495	0.444							
IL	-0.070	0.729 *	0.086	0.231	0.529	0.581						
BBA	0.115	-0.491	-0.336	-0.221	0.219	0.019	-0.269					
TBA	-0.068	-0.706 *	-0.240	-0.385	-0.059	-0.080	-0.551	0.928 **				
RL	-0.420	-0.778 *	0.280	-0.705 *	-0.597	-0.123	-0.814 *	0.351	0.652			
LRN	-0.700 *	-0.133	0.680	-0.599	-0.183	0.474	-0.356	-0.024	0.191	0.594		
RFW	-0.951 **	0.101	0.593	-0.590	-0.090	0.761 *	0.346	-0.309	-0.199	0.142	0.538	
RDW	-0.960 **	0.016	0.633	-0.625	-0.218	0.658	0.182	-0.382	-0.207	0.266	0.627	0.979 **

制剂烯效唑后,倒伏指数仅与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关。 GA_3 主要影响主花序长度、侧根数,研究也发现喷施 GA_3 能增加棉花的侧根数^[16],因此 GA_3 主要通过增加甘蓝型油菜侧根数,增加植株的节间距而调控甘蓝型油菜倒伏指数。主成分分析结果表明,倒伏与根系因子、茎秆长度因子、茎粗因子、分枝数相关因子密切相关,其中根系因子对倒伏指数贡献率最大,其次是茎秆长度因子和分枝数相关因子,最后是茎粗因子,说明通过增加甘蓝型油菜侧根数或根系长度可显著提高抗倒伏能力,影响倒伏因素的主成分分析结果与相关性分析结果一致。

3 讨论与结论

倒伏对甘蓝型油菜的生产具有重要的影响,如何选择抗倒伏品种,解决倒伏现象,是提升油菜种植效益的重要途径^[17]。本试验结果表明,欧洲来源油菜品种的抗倒伏能力均大于中国来源油菜,中国来源油菜中鄂油杂 3 号抗倒性最好。对于 7 个材料,正常条件下倒伏指数与根鲜质量、根干质量呈极显著负相关,与一次有效分枝高度呈显著负相关。主成分分析结果表明,倒伏与根系因子、茎秆长度因子、茎粗因子、分枝数相关因子密切相关,其中根系因子对倒伏指数贡献率最大,其次是茎秆长

度因子和分枝数相关因子,最后是茎粗因子。马宁等发现,甘蓝型油菜的倒伏指数与株高、一次有效分枝高度、主花序长度、顶枝角密切相关^[18]。因此,在育种过程中,应该选择根系发达、茎秆节间数较短、茎较粗、株型紧密的材料,同时由于欧洲来源材料抗倒伏能力较强,可以适当引入欧洲血统材料。

本试验结果表明,喷施 20 mg/L 赤霉素增加油菜的侧根数和株高以及主花序长度,降低抗倒伏能力;50 mg/L 烯效唑处理降低株高,增加一次有效分枝数、基枝角和顶枝角,有利于提高植株抗倒伏。其他研究也发现,外源植物生长调节剂能有效改变植株茎秆形态性状,调控茎秆抗倒伏能力^[19]。烯效唑能有效降低茎秆的株高、茎秆重心高度以及减小基部第 2 节间的长度,增大节间充实度,降低倒伏指数,减小倒伏的概率^[15];李琬等也发现烯效唑具有明显的控上促下的生理作用,可以降低植株高度^[20]。本试验发现,烯效唑处理降低一次有效分枝高度和株高,提高茎秆充实度和抗倒伏能力,结果与上述研究结果基本相符;赤霉素处理增加了株高和有效分枝节间距、主花序长度、根长以及侧根数,降低植株抗倒伏能力。在生产过程中,若适当增加植物生长调节剂的喷施,能对植株抗倒伏起到一定的效果。油菜幼苗期喷施烯效唑可以调控株高,增加产量,使种子含油量下降^[21]。因此,对烯效唑的使用需要慎重对待。在育种过程中,需参照影响甘蓝型油菜抗倒伏性的主要因素,加强选育根系发达、茎秆强度高、高度适中的抗倒伏品种。

参考文献:

[1]刘成,冯中朝,肖唐华,等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报,2019,41(4): 485-489.

[2]殷艳,尹亮,张学昆,等. 我国油菜产业高质量发展现状和对策[J]. 中国农业科技导报,2021,23(8): 1-7.

[3]南铭. 燕麦抗倒伏生理机制及茎秆木质素合成基因表达研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学,2021.

[4]Kendall S L, Holmes H, White C A, et al. Quantifying lodging - induced yield losses in oilseed rape [J]. Field Crops Research, 2017,211:106-113.

[5]韩毅强,石英,高亚梅,等. 赤霉素及烯效唑对大豆形态、光合生理及产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2018,40(6): 820-

827.

[6]王江英,朱朋波,汤雪燕,等. 外源赤霉素诱导矮生山茶恨天高植株生长的转录组分析[J]. 江苏农业学报,2020,36(1):47-56.

[7]Zuo Q S, Wang L, Zheng J D, et al. Effects of uniconazole rate on agronomic traits and physiological indexes of rapeseed blanket seedling[J]. Oil Crop Science,2020,5(4): 198-204.

[8]Fang X, Liu X, Zhang Y, et al. Effects of uniconazole or gibberellic acid application on the lignin metabolism in relation to lodging resistance of culm in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) [J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2018,204(4): 414-423.

[9]Ahmad I, Ahmad S, Yang X N, et al. Effect of uniconazole and nitrogen level on lodging resistance and yield potential of maize under medium and high plant density [J]. Plant Biology,2021,23(3): 485-496.

[10]Ahmad I. 烯效唑对玉米抗倒伏性、抗氧化防御系统和籽粒灌浆的调控[D]. 咸阳: 西北农林科技大学,2018.

[11]张巫军,段秀建,姚雄,等. 烯效唑对遮阴下重穗型水稻渝香203茎秆形态结构和抗倒伏性的影响[J]. 四川农业大学学报,2019,37(6): 755-761.

[12]阴涛. 甘蓝型油菜株高和角果长及其相关性状 QTL 定位[D]. 重庆: 西南大学,2015.

[13]周清元,李军庆,崔翠,等. 油菜半矮秆新品系 10D130 株型性状的遗传分析[J]. 作物学报,2013,39(2): 207-210,212-215.

[14]汪文祥,胡琼,梅德圣,等. 基于图像处理的油菜分枝及角果着生角度测量方法[J]. 中国油料作物学报,2015,37(4): 566-570,575.

[15]刘星贝. 烯效唑和赤霉素浸种对甜荞抗倒伏性能的影响及其机理研究[D]. 重庆: 西南大学,2017.

[16]王荣,丁娜. 不同浓度赤霉素溶液对棉花幼苗发育的影响[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版),2010,27(3): 48-50,69.

[17]张忠鑫,王学芳,董育红,等. 烯效唑·多效唑对黄淮区油菜新品种秦优 1699 苗期和成熟期性状的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(15): 142-144,148.

[18]马宁,张冰冰,徐宇,等. 不同株高甘蓝型油菜茎秆特性及其与倒伏的相关性[J]. 西北农业学报,2021,30(2): 203-211.

[19]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.

[20]李琬,项洪涛,何宁,等. 烯效唑 S₃₃₀₇ 提高作物抗逆性研究进展[J]. 中国农学通报,2020,36(20): 101-106.

[21]高建芹,陈松,彭琦,等. 苗期喷施烯效唑对油菜生长及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(2): 305-312.