

内蒙古燕麦叶斑病的发生及其影响因素

刘万友¹ 吕世杰² 孙雪梅¹ 东保柱¹ 周洪友^{1*} 张笑宇^{1*}

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学理学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 为探究内蒙古田间影响燕麦叶斑病的因素, 采用正交试验设计对燕麦品种、播期、种植密度、施氮量、施磷量和灌水量6个因素及其组合于2009—2011年进行连续3年的重复试验, 运用逐步回归法对3年试验数据进行分析, 探讨不同因素及其组合对燕麦叶斑病的影响。正交方差和分析表明, 播期和品种是影响燕麦叶斑病的主要因素, 方差贡献率分别为78.69%和12.20%; 而施氮量、施磷量和灌水量对燕麦叶斑病发生程度均无显著影响。拟合分析获得燕麦叶斑病发生程度与播期(x_2)、品种(x_1)和种植密度(x_3)之间的非线性回归方程为 $y=51.99-6.45x_2-0.39x_1x_3$, 表明适当推迟播期、选择抗性较高的燕麦品种且相对密植可减轻燕麦叶斑病的发生程度。

关键词: 燕麦叶斑病; 逐步回归分析; 互作效应; 种植密度; 播期

Factors affecting occurrence of oat leaf spot in Inner Mongolia

Liu Wanyou¹ Lü Shijie² Sun Xuemei¹ Dong Baozhu¹ Zhou Hongyou^{1*} Zhang Xiaoyu^{1*}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia Autonomous Region, China; 2. College of Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: To identify the agricultural factors affecting oat leaf spot in the field in Inner Mongolia, effects of six elements (varieties, sowing date, planting density, nitrogen amount, phosphorus amount and irrigation amount) were analyzed using an orthogonal experimental design in three successive years from 2009 to 2011. The orthogonal ANOVA showed that planting date and variety were the main influencing factors on oat leaf spot disease, accounting for 78.69% and 12.20% of total variance. Nitrogen, phosphorus, and irrigation amounts showed negligible impact on the severity of oat leaf spot disease. The fitting analysis results showed that varieties, sowing date, and planting density significantly affected the disease severity, which fit the nonlinear regression equation $y=51.99-6.45x_2-0.39x_1x_3$. Therefore, present study indicated that the severity of oat leaf spot disease could be controlled by planting resistant varieties with high density, as well as delaying the sowing date.

Key words: oat leaf spot; stepwise regression analysis; interaction effect; planting density; sowing date

燕麦 *Avena sativa* 分为带稃型(皮燕麦)和裸粒型(裸燕麦)2大类, 主要分布在俄罗斯、美国、加拿大、德国、澳大利亚、中国和芬兰等国家, 多用于饲养家畜, 少量用作粮食(Schröckel, 1986)。我国燕麦主产区包括内蒙古、河北、吉林、山西、陕西、青海和甘肃等省区, 在云南省、贵州省、四川省和西藏自治区也

有小面积种植, 其中以内蒙古自治区种植面积最大, 占全国燕麦总种植面积的30%以上(王凤梅, 2015)。

病害是限制燕麦产业发展的主要因素之一, 不仅影响燕麦的产量和品质, 部分病原菌亦可产生有毒的次生代谢产物, 导致家畜的消化代谢等功能异常, 降低家畜的生产力(孙炳达, 2003; 李春杰等,

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业(燕麦荞麦)产业技术体系(CARS-07-C-3)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: hongyouzhou2002@aliyun.com, zxy2000@126.com

收稿日期: 2020-07-12

2017)。燕麦叶斑病是近年发生较为严重的病害之一,由燕麦内脐蠕孢 *Drechslera avenae* 引起(da Silva et al., 2012)。此病害主要危害燕麦叶片,使部分叶片组织受到破坏,影响光合作用,导致籽粒干瘪、产量降低,一般减产 5%~10%,严重时减产可达 30% 以上(杨才, 2010)。该病害分布广泛,在世界各地的燕麦主产区都有分布(孙炳达, 2003)。Mehta et al. (2002)和 da Silva et al. (2012)证明了巴西燕麦叶斑病的病原菌为燕麦内脐蠕孢和德氏霉菌 *Drechslera avenacea*; Jalli et al. (2011)研究结果表明芬兰燕麦叶斑病的病原菌为核腔菌 *Pyrenophora chaetomioides* 和禾旋孢腔菌 *Cochliobolus sativus*; 我国燕麦叶斑病的病原菌多为燕麦内脐蠕孢,主要分布于内蒙古、山西和河北等 10 个省区(戴芳澜, 1979)。

目前,燕麦叶斑病的防治仍以化学措施为主,喷施农药对燕麦叶斑病有很好的防治效果(袁军海等, 2014; 东保柱等, 2015),但长期进行化学防治易引起“3R”问题,因此最无公害而经济有效的方法就是种植抗病品种。如 da Silva et al. (2012)鉴定了大量燕麦品系对叶斑病的抗性,在燕麦中筛选出 26 个抗叶斑病相关基因。由于田间燕麦叶斑病发生受到诸多因素的影响,为有效防控该病害的大发生,需要明确影响其田间发生的因素。目前,影响燕麦叶斑病田间发生的因素尚不十分清楚,本研究通过多年、多因素正交试验揭示影响燕麦叶斑病田间发生的关键因素,以期有机绿色种植模式下燕麦叶斑病的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试病原菌:从内蒙古呼和浩特市武川县燕麦叶斑病重发田进行取样,采用组织分离法分离病原菌,并进行致病性验证,通过形态学特征及 18S rDNA 序列分析将分离菌株鉴定为燕麦内脐蠕孢菌,于 -80℃ 保存备用。

供试燕麦品种和肥料:燕科 1 号(编号 A₁)、保罗(编号 A₂)、草苳 1 号(编号 A₃)、农家种(编号 A₄)和科燕 1 号(编号 A₅)由内蒙古农业大学燕麦研究所提供。其中燕科 1 号和草苳 1 号经抗性鉴定为高感型(袁军海等, 2014),其余品种未经抗性鉴定。46% 大颗粒缓释尿素,青岛五洲丰田生物技术有限公司; 12% 过磷酸钙,云南云天化股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 燕麦叶斑病的田间调查方法

试验地设在呼和浩特市武川县,海拔为 1 621 m,

无霜期 110 d 左右,是比较典型的风沙农牧交错区,冷凉型气候,土壤类型为砂壤土。于 2009—2011 年每年的 9 月 15 日采用对角线调查法对随机选择的 50 个小区进行调查,每个小区大小为 5 m×6 m,在每个小区按照对角线 5 点随机取样,每点取 100 片叶片进行病级统计,并计算病情指数。病情指数 = $\sum(\text{各级病叶数} \times \text{级别代表值}) / (\text{调查总叶数} \times \text{最大级数值}) \times 100$ 。病级分级标准为:1 级,病叶无任何病斑;2 级,叶片上病斑面积占叶片总面积的比例 < 10%;3 级,10% ≤ 叶片上病斑面积占叶片面积的比例 < 25%;4 级,25% ≤ 叶片上病斑面积占叶片面积的比例 < 50%;5 级,叶片上病斑面积占叶片面积的比例 ≥ 50%。

1.2.2 燕麦叶斑病影响因子的正交试验设计

采用 L₂₅(5⁶) 正交试验设计,在 1.2.1 所述地点于 2009—2011 年每年的 5—9 月进行连续 3 年的重复试验,6 种影响燕麦叶斑病的因素分别为品种(A)、播期(B)、种植密度(C)、施氮量(D)、施磷量(E)和灌水量(F),每种因素设置 5 个水平,试验重复 2 次,共 50 小区,每个小区大小为 5 m×6 m。

供试 5 个燕麦品种的播期均设计 5 月 2 日(B₁)、5 月 9 日(B₂)、5 月 16 日(B₃)、5 月 23 日(B₄)及 5 月 30 日(B₅)5 个阶段。种植密度分别设 30 万株/hm²(C₁)、35 万/hm²(C₂)、40 万株/hm²(C₃)、45 万株/hm²(C₄)和 50 万株/hm²(C₅)5 个梯度。

氮肥分基肥和追肥 2 次施入,施入量分别为预设值的 40% 和 60%,即基施氮肥用量分别为 0、12、24、36、48 kg/hm²,分蘖期追施氮肥用量分别为 0、18、36、54、72 kg/hm²,因此氮肥总体施用量 5 个水平分别为 0(D₁)、30 kg/hm²(D₂)、60 kg/hm²(D₃)、90 kg/hm²(D₄)、120 kg/hm²(D₅)。而磷肥则作为基肥一次性施入,设 5 个水平,分别为 0(E₁)、22.5 kg/hm²(E₂)、45.0 kg/hm²(E₃)、67.5 kg/hm²(E₄)和 90.0 kg/hm²(E₅)。氮肥使用 46% 尿素,磷肥使用 12% 过磷酸钙。

灌水处理定额每次为 750 m³/hm²,设 5 个处理,以不灌水记为 F₁,在拔节到抽穗期灌水 1 次记为 F₂,在抽穗到灌浆期灌水 1 次记为 F₃,在拔节到抽穗期、抽穗到灌浆期各灌水 1 次记为 F₄,在 F₄ 的基础上在灌浆到乳熟期再灌水 1 次记为 F₅。

1.2.3 正交试验数据分析方法

将 2009—2011 年 3 年燕麦叶斑病发生程度看作 3 次重复,求取平均值后得到正交试验结果。首先分别利用极差分析法和直观分析法进行简单分析,依据极差值 R(代表不同水平间极差)和平均值 $\bar{K}$ (代表各水平试验结果的平均值)得到病情指数最小的最佳组合。若这 2 种分析方法结果存在明显差异则

需要进一步进行方差分析,同时怀疑存在因素间交互,因此需将正交试验结果导入SAS 9.3软件进行方差分析以确定显著影响因素。

为验证存在交互因素,最后采用逐步回归分析法探究田间燕麦叶斑病发生程度和影响因素的理论回归方程。在齐性方差检验后得到有2个因素对燕麦叶斑病发生程度具有显著影响,但在进行方差分析时未考虑因素的二次项,即两两交互作用各因素的平方项。采用逐步回归法逐步引入变量建立回归模型。用自变量 x_1 表示品种, x_2 表示播期, x_3 表示种植密度, x_4 表示施氮量, x_5 表示施磷量, x_6 表示灌水量,引入因素的交叉项和因素的平方项,记为: $x_7=x_1 \times x_2$, $x_8=x_2 \times x_3$, $x_9=x_3 \times x_4$, $x_{10}=x_4 \times x_5$, $x_{11}=x_5 \times x_6$, $x_{12}=x_1 \times x_3$, $x_{13}=x_2 \times x_4$, $x_{14}=x_3 \times x_5$, $x_{15}=x_4 \times x_6$, $x_{16}=x_1 \times x_4$, $x_{17}=x_2 \times x_5$, $x_{18}=x_3 \times x_6$, $x_{19}=x_1 \times x_5$, $x_{20}=x_2 \times x_6$, $x_{21}=x_1 \times x_6$ 。同时利用标准化估计参数值的绝对值来衡量因素的重要性。

1.3 数据分析

采用SAS 9.3软件对试验数据进行正交方差分析及方程拟合。

2 结果与分析

2.1 燕麦叶斑病影响因素的正交试验结果

由极差分析法依据极差值 R 判断出6个因素对病情指数的影响顺序为 $B>A>C>E>F>D$,即播期(B)对病情指数的影响最大,其次依次为品种(A)、种植密度(C)、磷肥施用量(E),影响最小的是灌水量(F)和氮肥施用量(D),且试验最佳组合为 $B_5A_4C_5E_3F_4D_2$,即在5月30日(B_5)选用科燕1号(A_5)以50万株/hm²(C_5)的种植密度进行播种,以90 kg/hm²(E_5)磷肥一次性施入,在拔节到抽穗期、抽穗到灌浆期各灌水1次(F_4),氮肥基施12 kg/hm²追施18 kg/hm²(D_2)的方案种植燕麦,对叶斑病的控制效果最好(表1)。由直观分析法依据平均病情指数最小可以判断试验最佳组合为 $A_4B_5C_3D_1E_4F_2$,此时燕麦叶斑病的病情指数最小,仅为12.87,发病程度最轻(表1)。上述2种分析方法所得结果存在差异,推测不同影响因素之间存在交互作用。

2.2 各影响因素对病情指数影响强度分析

将表1数据进行方差齐性检验得到正交试验方差分析结果,发现因素A和B的 P 值小于0.05,具有统计学意义,两者对燕麦叶斑病的发生程度有显著影响,其他因素对燕麦叶斑病的发生程度无显著影响,其中B因素方差贡献率高达78.69%,A因素方差贡献率为12.20%,说明B因素播期是影响燕麦叶斑病发生程度的主要因素,其次是A因素品种(表2)。

该结果与极差分析法所得结果一致。

2.3 燕麦叶斑病显著影响因子筛选结果

对燕麦叶斑病显著影响因子进行拟合,得到回归方程为 $y=51.99-6.45x_2-0.39x_1x_3$,其中 x_1 代表品种, x_2 代表播期, x_3 代表种植密度,回归方程 F 值为27.93,模型检验概率 P 小于0.000 1,回归方程极显著(表3),且对方程变量进行显著性检验时对应的概率值 P 均小于0.15(表4)。从整体上看,在武川县所有供试燕麦品种中燕麦叶斑病的理论病情指数最高为51.99,不同品种对燕麦叶斑病的抗性存在差异。方程中品种 x_1 和种植密度 x_3 有交互作用,说明不同品种特性与农艺措施结合对燕麦叶斑病具有较好的防治效果。在播期一定时,选择不同品种和增加种植密度可减轻燕麦叶斑病的发生程度,品种和种植密度每增加1单位,燕麦叶斑病的病情指数降低0.39。同时播期也是影响叶斑病发生的重要因素,当品种与种植密度一定时,在燕麦可完成所有生育期的前提下适当晚播可降低叶斑病的发生,理论上当播期每推迟7 d,燕麦叶斑病的病情指数降低6.45。

从标准化估计参数分析A和B因素的重要性,发现播期标准化估计值|0.23|小于品种与种植密度互作的标准化估计值|0.84|,表明品种与种植密度之间的交互因素显著影响燕麦叶斑病的发生程度。

3 讨论

本研究建立了影响燕麦叶斑病发生因素与病情指数的非线性回归方程,解析了影响燕麦叶斑病发生程度的最显著影响因子是品种与种植密度互作,其次是播期,因此建议选择抗性相对较高的品种进行合理密植,适当延迟播期可以减轻燕麦叶斑病的发生程度。燕麦品种和种植密度互作是影响叶斑病发生程度的主要因素,这可能与燕麦和叶斑病病原菌自身生物学特性相互作用有关。目前还未见针对叶斑病的燕麦高抗品种,同时经试验得出主要影响因素是品种与种植密度互作,所以推测主要机制是品种与密度共同作用下形成的群体微环境限制或不利于燕麦叶斑病病原菌生长发育。燕麦叶斑病病原菌可在5~30℃范围内生长,最适生长温度为20~25℃,能利用硝酸钠、硫酸铵和硝酸铵(张笑宇等,2017);且其孢子萌发适宜条件是10~20℃和100%相对湿度(Motovilina & Strigekozin, 2000);21℃和80%相对湿度是其分生孢子形成的最佳条件,有利于发病(Rosa et al., 2003)。而Muskett(1937)研究发现低温和较高湿度是影响燕麦叶斑病发生的主要环境因素;Scott(1995)研究认为温度20~24℃和高湿条

件有利于燕麦叶斑病病原菌侵染叶部。证明温度、湿度和氮素对燕麦叶斑病的发生和发展至关重要。

表 1 2009—2011 年燕麦叶斑病影响因素的 $L_{25}(5^6)$ 正交试验结果
Table 1 Results from experiments using a $L_{25}(5^6)$ orthogonal design about the effects of six factors on oat leaf spot disease from 2009 to 2011

编号 Serial number	不同试验因素 Different test factors						平均病情指数 Mean disease index
	A 品种 Variety	B 播期 Sowing date	C 种植密度 Planting density	D 氮肥施用量 Nitrogen amount	E 磷肥施用量 Phosphorus amount	F 灌水量 Irrigation amount	
1	1	1	1	1	1	1	42.96
2	1	2	2	2	2	2	47.95
3	1	3	3	3	3	3	39.49
4	1	4	4	4	4	4	24.48
5	1	5	5	5	5	5	17.86
6	2	1	2	3	4	5	41.92
7	2	2	3	4	5	1	41.34
8	2	3	4	5	1	2	27.01
9	2	4	5	1	2	3	15.56
10	2	5	1	2	3	4	17.51
11	3	1	3	5	2	4	35.88
12	3	2	4	1	3	5	40.83
13	3	3	5	2	4	1	24.81
14	3	4	1	3	5	2	15.96
15	3	5	2	4	1	3	14.53
16	4	1	4	2	5	3	27.71
17	4	2	5	3	1	4	30.84
18	4	3	1	4	2	5	25.08
19	4	4	2	5	3	1	23.24
20	4	5	3	1	4	2	12.87
21	5	1	5	4	3	2	37.14
22	5	2	1	5	4	3	49.63
23	5	3	2	1	5	4	29.10
24	5	4	3	2	1	5	23.24
25	5	5	4	3	2	1	20.56
$\bar{K}_1$	34.55	37.12	30.23	28.27	27.72	30.58	
$\bar{K}_2$	28.67	42.12	28.24	28.24	29.01	28.19	
$\bar{K}_3$	26.40	29.10	30.57	29.75	31.64	29.38	
$\bar{K}_4$	23.95	20.50	28.12	28.51	30.74	27.56	
$\bar{K}_5$	31.93	16.67	25.24	30.73	26.39	29.79	
R	10.60	25.45	5.32	2.48	5.25	3.02	

试验因素中的 1~5 表示 5 个处理水平; $\bar{K}$ 代表各水平试验结果的平均值, R 代表不同水平间的极差值。1~5 of the test factors represent five treatment levels; $\bar{K}$ indicates the average of the test results at different levels, and R indicates the range difference between different levels.

表 2 燕麦叶斑病影响因素的正交试验方差分析结果
Table 2 Analysis of variance for the effects of six agricultural factors on oat leaf spot from orthogonal experiments

来源 Source	自由度 df	离均差平方和 SS	均方 Mean square	F	P	离均差平方和占比 SS proportion/%
A 品种 Variety	4	1 075.84	268.96	2.90	0.031	12.20
B 播期 Sowing date	4	6 936.47	1 734.12	18.70	<0.000 1	78.69
C 种植密度 Planting density	4	365.20	91.30	0.98	0.425	4.14
D 氮肥施用量 Nitrogen amount	4	72.60	18.15	0.20	0.940	0.82
E 磷肥施用量 Phosphorus amount	4	275.81	68.95	0.74	0.567	3.13
F 灌水量 Irrigation amount	4	89.08	22.27	0.24	0.914	1.01

SS: Sum of squares of deviation from mean.

表3 燕麦叶斑病影响因素的逐步回归分析

Table 3 Stepwise regression analysis of influencing factors on oat leaf spot disease

来源 Source	自由度 <i>df</i>	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
模型 Model	2	2 108.19	1 054.09	27.93	<0.000 1
误差 Error	22	830.31	37.74		
校正合计 Corrected total	24	2 938.49			

表4 燕麦叶斑病影响因素的回归方程变量显著性检验结果

Table 4 Test results of significance of regression equation variables of influencing factors on oat leaf spot disease

变量 Variable	参数估计 Parameter estimate	标准误差 Standard error	标准化估计 Standardized estimate	<i>F</i>	<i>P</i>
常数 Intercept	51.99	3.54	0.00	215.97	<0.000 1
播期 Planting date (x_2)	-6.45	0.87	-0.23	54.43	<0.000 1
品种×种植密度 Variety×planting density ($x_1 \times x_3$)	-0.39	0.20	-0.84	4.05	0.056 5

燕麦种植密度的增加影响了群体微环境,随着种植密度加大群体内部温度升高(刘旭,2014),超出燕麦叶斑病病原菌生存温度范围,不利于其生长繁殖。另外,不同品种对种植密度调整响应不同,在水稻生产中种植密度会使不同类型水稻形成不同的小气候环境(韦叶娜等,2018),所以不同燕麦品种在增大种植密度后形成的微生境也不同,即对燕麦叶斑病病原菌的影响也不同,所以品种和种植密度的互作效应是影响燕麦叶斑病发生程度的主要影响因素。另外,作物在适当的范围内增加种植密度,不仅能增加产量(张金宝等,2010;赵宏魁等,2016),还能提高氮素利用和转化,降低植株茎叶氮素含量。大豆生产中随着种植密度增加单株叶片氮素降低,籽粒中蛋白含量有所上升,群体产量上升(张晓艳等,2011);玉米生产中适当的高密度种植可加速氮运转率,叶片叶鞘随种植密度增加有降低趋势,而产量和氮素利用率呈增加趋势(王海燕等,2011)。有研究表明,氮素的积累与病害发生有密切关系,因为氮素过高时作物细胞壁木质素合成减少,植株徒长,质外体和叶表面的氨基酸及酰胺浓度增加,为病原菌孢子萌发和生长提供了营养源(朱锦惠等,2017);同时过高的氮素还导致作物酚类物质合成减少,毒性降低,易受病菌侵染,抗病力下降(Chen et al., 2007)。燕麦叶斑病病原菌生长需要氮素,种植密度增加可以降低燕麦叶片表面的氮素浓度,从而对燕麦叶斑病病原菌生长造成一定限制。

播期是另一个显著影响燕麦叶斑病发生程度的因素,播期本身不是一个单独变量,播期包含作物播种及生长发育过程中的气温、降水和光照等多个因素,同时还涉及播期对作物本身生长发育带来的一系列变化,这都会影响作物与病原物之间的关系。

事实上,农田生态系统中病害的发生及病害与作物之间的关系比较复杂,可能存在更广泛的互作效应。所以有关病害的发生程度与播期的关系尚待今后进一步研究验证。目前还未见针对燕麦叶斑病高抗品种或免疫品种的报道,袁军海等(2014)在对冀西北地区燕麦主栽品种进行了抗性鉴定,结果表明供试品种均表现中度或高度感病。所以在燕麦有机种植区推行合理密植选并选用不同抗性品种的栽培方法是防治叶斑病的有效策略。

参考文献 (References)

- Chen YX, Zhang FS, Tang L, Zheng Y, Li YJ, Christie P, Li L. 2007. Wheat powdery mildew and foliar N concentrations as influenced by N fertilization and belowground interactions with intercropped faba bean. *Plant and Soil*, 291(1/2): 1-13
- da Silva MR, Martinelli JA, Federizzi LC, Chaves MS, Pacheco MT. 2012. Lesion size as a criterion for screening oat genotypes for resistance to leaf spot. *European Journal of Plant Pathology*, 134(2): 315-327
- Dai FL. 1979. *Sylloge fungorum sinicorum*. Beijing: Science Press (in Chinese) [戴芳澜. 1979. 中国真菌总汇. 北京: 科学出版社]
- Dong BZ, Zhang XY, Zhao GQ, Zhou HY. 2015. Indoor virulence and field control of oat leaf spot with different fungicides. // Peng YL, Miao WG. *Proceedings of the Annual Meeting of Chinese Society for Plant Pathology* (2015). Beijing: China Agriculture Press, pp. 247 (in Chinese) [东保柱, 张笑宇, 赵桂琴, 周洪友. 2015. 不同杀菌剂对燕麦叶斑病的室内毒力和田间防效. // 彭友良, 缪卫国. 中国植物病理学会2015年学术年会论文集. 北京: 中国农业出版社, pp. 247]
- Jalli M, Laitinen P, Latvala S. 2011. The emergence of cereal fungal diseases and the incidence of leaf spot diseases in Finland. *Agricultural and Food Science*, 20(1): 62-73
- Li CJ, Chen TX, Zhao GQ, Nan ZB. 2017. Progress in research on diseases of *Avena sativa*. *Acta Prataculturae Sinica*, 26(12): 203-

- 222 (in Chinese) [李春杰, 陈泰祥, 赵桂琴, 南志标. 2017. 燕麦病害研究进展. 草业学报, 26(12): 203–222]
- Liu X. 2014. Study on optimum tomato planting density and colony microclimate characteristics in solar greenhouse in summer. Master thesis. Zhengzhou: Henan Agricultural University (in Chinese) [刘旭. 2014. 夏季日光温室番茄种植适宜密度及群体小气候特性的研究. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学]
- Mehta A, Mehta YR, Rosato YB. 2002. ERIC-and REP-PCR amplify non-repetitive fragments from the genome of *Drechslera avenae* and *Stemphylium solani*. FEMS Microbiology Letters, 211(1): 51–55
- Motovin AN, Strigekozin JA. 2000. Estimation of oats basic disease harmfulness. Protection and Quarantine of Plants, 7: 28
- Muskett AE. 1937. A study of the epidemiology and control of *Helminthosporium* disease of oats. Annals of Botany, 1(4): 763–783
- Rosa CRED, Martinelli JA, Federizzi LC, Bocchese CAC. 2003. Quantificação dos conídios produzidos por *Pyrenophora chaetomioides* em folhas mortas de *Avena sativa* em condições de campo. Fitopatologia Brasileira, 28(3): 319–322
- Schrickel DJ. 1986. Oats production, value, and use.//Webster FH. Oats: chemistry and technology. St. Paul: Association of Cereal Chemists, pp. 1–11
- Scott DB. 1995. Helminthosporia that cause leaf spots on small-grain cereals in South Africa.//Chelkowski J. Helminthosporia metabolites, biology, plant diseases: *Bipolaris*, *Drechslera*, *Exserohilum*. Poznań, Poland: Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, pp. 107–137
- Sun BD. 2003. Taxonomic studies on the hyphomycetes genera of *Drechslera* Ito and *Exserohilum* Leonard Suggs in China. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University [孙炳达. 2003. 中国内脐蠕孢属(*Drechslera*)及突脐蠕孢属(*Exserohilum*)真菌分类研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Wang FM. 2015. Investigation and study on oat cultivation in Inner Mongolia. Agriculture and Technology, 35(16): 120, 123 (in Chinese) [王凤梅. 2015. 内蒙古燕麦种植情况调查研究. 农业与技术, 35(16): 120, 123]
- Wang HY, Gao JL, Wang ZG, Yu XF, Sun JY, Cui C, Gao X. 2011. Effects of planting density on nitrogen accumulation, operation, use and leaves senescence of super-high yield spring maize. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 32(3): 194–198 (in Chinese) [王海燕, 高聚林, 王志刚, 于晓芳, 孙继颖, 崔超, 高鑫. 2011. 密度对超高产春玉米氮素积累、运转、利用及叶片衰老的影响. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 32(3): 194–198]
- Wei YN, Zhao X, Yang GT, Wang XC, Peng YL, Hu Y, Hu YG. 2018. Effects of planting density on the microclimate of rice population with different panicle-types and its yield components. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 24(4): 813–823 (in Chinese) [韦叶娜, 赵祥, 杨国涛, 王学春, 彭友林, 胡瑶, 胡运高. 2018. 栽培密度对不同穗型水稻群体小气候及产量构成的影响. 应用与环境生物学报, 24(4): 813–823]
- Yang C. 2010. The production of organic oats. Beijing: China Agricultural University Press (in Chinese) [杨才. 2010. 有机燕麦生产. 北京: 中国农业大学出版社]
- Yuan JH, Cao LX, Shi BH, Qiao J, Zhao SF. 2014. Evaluation of main oat cultivars or lines resistance against *Drechslera* leaf spot in northwest Hebei Province. China Plant Protection, 34(2): 31–34 (in Chinese) [袁军海, 曹丽霞, 石碧红, 乔剑, 赵世锋. 2014. 冀西北地区燕麦主栽品种(系)对叶斑病抗性鉴定. 中国植保导刊, 34(2): 31–34]
- Zhang JB, Qin X, Sun PX, Hu GH, Cao YP. 2010. Effects of plant density on nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of late sown winter wheat in Yellow and Huai Valley in China. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 38(12): 112–116 (in Chinese) [张金奎, 秦霞, 孙佩贤, 胡根海, 曹银萍. 2010. 黄淮麦区种植密度对晚播冬小麦花后氮素代谢和利用效率的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 38(12): 112–116]
- Zhang XY, Sun XM, Zhou HY, Zhao GQ, Wang FW, Gao Q. 2017. Identification and biological characteristics of leaf spot pathogen *Drechslera avenacea* in oat. Journal of Plant Protection, 44(3): 473–480 (in Chinese) [张笑宇, 孙雪梅, 周洪友, 赵桂琴, 王凤梧, 高卿. 2017. 燕麦叶斑病原菌鉴定及其生物学特性. 植物保护学报, 44(3): 473–480]
- Zhang XY, Zheng DF, Feng NJ, Li JY, Du JD. 2011. Effect of plant density on soybean carbon and nitrogen metabolism, yield and quality. Agricultural Research in the Arid Areas, 29(3): 128–132 (in Chinese) [张晓艳, 郑殿峰, 冯乃杰, 李建英, 杜吉到. 2011. 密度对大豆群体碳氮代谢相关指标及产量、品质的影响. 干旱地区农业研究, 29(3): 128–132]
- Zhao HK, Ma Z, Zhang CH, Lei ZL, Yao BQ, Zhou HK. 2016. The reproductive allocation of *Avena sativa* under different planting densities and nitrogen addition treatments. Pratacultural Science, 33(2): 249–258 (in Chinese) [赵宏魁, 马真, 张春辉, 雷占兰, 姚步青, 周华坤. 2016. 种植密度和施氮水平对燕麦生物量分配的影响. 草业科学, 33(2): 249–258]
- Zhu JH, Dong Y, Xiao JX, Zheng Y, Tang L. 2017. Effects of N application on wheat powdery mildew occurrence, nitrogen accumulation and allocation in intercropping system. Chinese Journal of Applied Ecology, 28(12): 3985–3993 (in Chinese) [朱锦惠, 董艳, 肖靖秀, 郑毅, 汤利. 2017. 小麦与蚕豆间作系统氮肥调控对小麦白粉病发生及氮素累积分配的影响. 应用生态学报, 28(12): 3985–3993]

(责任编辑:李美娟)