

57份小麦微核心种质条锈病和叶锈病成株期抗性评价

阎晓涛¹, 张树伟¹, 郑军², 郭慧娟¹, 李欣¹, 乔麟轶¹, 陈芳¹,
常利芳¹, 张晓军^{1*}

(1. 山西农业大学农学院, 太原 030031; 2. 山西农业大学小麦研究所, 山西 临汾 041000)

摘要: 条锈病和叶锈病是严重威胁我国小麦生产的两种主要病害。为了挖掘与利用抗病资源, 以改良我国小麦品种的抗病性, 利用人工接种的方法对我国小麦微核心种质中的57份材料分别进行了条锈病与叶锈病成株期抗性评价。结果表明, 具有条锈病成株抗性的材料有35份, 具有叶锈病成株抗性的材料有27份。兼抗2种病害的材料有14份, 占全部材料的24.6%。在所有抗病材料中, 对条锈免疫或近免疫的有9份, 对叶锈免疫或近免疫的有10份, 对2种病害的抗性都达到近免疫或高抗的材料有3份, 分别为梭条红麦、郑引4号和浙麦1号。本研究不仅为抗条锈和叶锈病育种提供了有价值的抗源材料, 也为深入研究我国小麦微核心种质提供参考。

关键词: 小麦; 微核心种质; 条锈病; 叶锈病; 成株期抗性

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)01-0030-05

Evaluation of Adult Stage Resistance of 57 Chinese Wheat Mini-Core Collections to Wheat Stripe Rust and Leaf Rust

YAN Xiaotao¹, ZHANG Shuwei¹, ZHENG Jun², GUO Huijuan¹, LI Xin¹, QIAO Linyi¹, CHEN Fang¹,
CHANG Lifang¹, ZHANG Xiaojun^{1*}

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031; 2. Institute of Wheat Research, Shanxi Agricultural University, Linfen 041000, China)

Abstract: Stripe rust and leaf rust are two main diseases threatening wheat production seriously in China. The resistance of wheat varieties in China can be improved effectively by digging and utilizing the germplasm resources of wheat with resistance to these diseases. In this study, 57 accessions of Chinese wheat mini-core collections were inoculated to evaluate their resistance to stripe rust and leaf rust at adult stage, respectively. The results showed that, there were 35 cultivars with adult stage resistance to stripe rust and 27 cultivars with adult stage resistance to leaf rust. There were 14 cultivars with adult stage resistance to both stripe rust and leaf rust, accounting for 24.6% of all materials. Among all the resistant cultivars, 9 were immune or near immune to stripe rust and 10 were immune or near immune to leaf rust. Furthermore, there were 3 cultivars, Suotiaohongmai, Zhengyin 4 and Zhemai 1, with near-immune or high resistance to these 2 diseases. This study not only provided valuable resistant resources for wheat breeding, but also provided reference for further studying the Chinese wheat mini-core collections.

Key words: Wheat; Mini-core collections; Stripe rust; Leaf rust; Adult stage resistance

由条型柄锈菌 (*Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* Eriks) 引起的小麦条锈病和由小麦叶锈菌 (*Puccinia tirticina*) 引起的小麦叶锈病是小麦生

产上发生严重的两种气传性真菌病害, 分生孢子侵染小麦叶片后形成亮黄色或铁锈色孢子层, 吸收小麦营养和水分并影响叶片光合作用, 发病最严重时可使植株在灌浆前死亡, 存在使小麦绝收的风险^[1-2]。在我国, 小麦条锈病主要分布于甘肃、四川、河南、陕西、河北、青海等省^[3], 叶锈病主要分布于山东、河南、河北、陕西、山西、云南、吉林、黑龙江、贵州、江苏等省^[4]。近年来, 我国小麦条锈病和叶锈病总发病面积都超过800万hm²^[5-6], 占小麦总播种面积的1/3以上, 使小麦生产遭受

收稿日期: 2020-02-06

基金项目: 山西种业创新良种联合攻关项目(2022XCZX02); 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC093); 山西省自然科学基金项目(202103021224140)

作者简介: 阎晓涛(1981-), 女, 助理研究员, 主要从事小麦遗传育种研究。

通讯作者: 张晓军, 男, 硕士, 副研究员, E-mail: zxjemail@163.com

巨大损失。

利用品种的抗病性防控小麦锈病是最安全和有效的手段之一^[7]。迄今,国际上虽已正式命名了83个抗条锈病基因^[8]和79个抗叶锈病基因^[9],很多抗病基因在育种与生产上也发挥了巨大作用。但由于病原菌毒性小种频繁变异,多数品种的抗性难以持久保持,大面积推广后往往3~10年便会“丧失”抗性^[10]。1997和2007年开始流行的CYR32^[11]、CYR33^[12]分别使碧蚂1号(*Yr1*)、阿勃(*YrAbb1*、*YrAbb2*)、洛夫林10(*Yr9*)、繁6(*Yr3b*、*Yr4b*)等条锈抗原失去作用;2009年出现的V26菌系则使92R137(*Yr24*或*Yr26*)和贵农22(*Yr10*、*Yr-Mor*)等主要抗原“丧失”抗性,其G22-9致病型于2016年被正式命名为CYR34^[13],已有超越CYR32和CYR33成为我国第一优势小种的趋势,病害暴发的风险逐年加重。广泛寻找与鉴定新的抗病资源,培育持久抗病新品种,进行抗病基因合理布局,是防范病害暴发风险、延缓病原菌生理小种变异、增加抗病品种的使用寿命、实现我国小麦病害可持续控制的根本措施^[14]。我国在长期小麦栽培历史中,积累了大量农家品种或地方品种,遗传资源非常丰富^[15],对这些种质资源进行抗病鉴定与评价,充分挖掘与利用其中含有的抗病资源,对丰富我国小麦品种的遗传多样性与进一步培育抗病品种具有重要价值。

本研究利用条锈菌CYR32、CYR33、CYR34混合小种和从田间采集的自然发病叶锈菌对收集的我国小麦微核心种质中的57份材料分别进行了条锈病与叶锈病成株期抗性评价,以明确这些微核心种质材料对条锈病和叶锈病的抗性,为挖掘小麦微核心种质的抗病基因及育种应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试验材料为来自中国小麦微核心种质中的57份材料,其中包括42份农家品种,12份育成品种和3份引进品种,由山西农业大学农学院作物遗传与分子改良山西省重点实验室收集保存;小麦条锈病鉴定所用条锈菌生理小种为CYR32、CYR33和CYR34混合生理小种,条锈病感病对照品种为台长29,条锈诱发品种为川育12,由四川省农业科学院作物研究所提供;叶锈病鉴定所用叶锈菌为2017年6月在山西省晋中市田间采集叶锈孢子,干燥后-20℃密封保存;叶锈病感病对照品种为铭贤169,由山西农业大学植物保护学院

原宗英研究员惠赠。

1.2 条锈病成株期鉴定

条锈病成株期抗性鉴定于2018~2019年在四川省农业科学院现代农业科技创新示范园进行。每个材料播种2行,行长2 m,行距25 cm,每10行播种1行对照品种台长29,每行两端播种川育12作为诱发材料。11月1日播种,翌年1月采用孢子悬液喷雾法^[16]接种条锈菌CRY32、CRY33和CYR34等量混合生理小种。3月中下旬,感病对照台长29充分发病时,调查各材料对条锈菌的抗性反应。调查方法按严重度(severity)八级标准进行记载^[17],分别为0(免疫)、1%(近免疫)、5%(高抗)、10%(抗)、25%(中抗)、40%(中感)、65%(高感)、100%(极感)。

1.3 叶锈病成株期鉴定

叶锈病成株期鉴定于2018~2019年在山西省晋中市山西农业大学东阳试验基地塑料大棚内进行。每个材料播种2行,行长1.5 m,行距25 cm,每10行播种1行对照品种铭贤169。10月上旬播种,翌年3月中旬左右,试验材料拔节后采用喷粉法^[18]进行接种。具体方法为:将叶锈菌孢子粉与滑石粉以1:1 000的比例均匀混合,傍晚时先用0.03%的吐温20水溶液对试验材料进行均匀喷雾,然后用喷粉器将叶锈孢子粉喷洒于试验材料叶面,覆盖地膜保湿16 h后揭开。接菌后每天喷雾保湿2次,保持棚内湿度为60%~80%。约20~30 d后,观察对照品种完全发病时,根据Li等^[19]使用的6级标准(表1)记录病害侵染类型。

表1 小麦叶锈病侵染类型

侵染型	抗感型	表现症状
0	免疫	无夏孢子堆或肉眼可见侵染点
0;	近免疫	无夏孢子堆,但有坏死斑或褪绿斑
1	高抗	夏孢子堆小,周围有坏死斑
2	中抗	夏孢子堆小至中等,周围有坏死斑或褪绿斑
3	中感	夏孢子堆中等,周围有或无褪绿斑
4	高感	夏孢子堆大,无褪绿斑和坏死斑,常有卫星孢子堆

2 结果与分析

2.1 条锈病成株期鉴定结果

2019年3月中旬,对照品种台长29发病严重度达到100%时进行调查。参试的57份材料中,有2份材料互助红、兴义4号因缺苗未获得鉴定数据。其余55份材料鉴定结果见表2。共有35

表2 57份小麦微核心种质对条锈病和叶锈病的抗性反应

编号	品种名称	种质类型	条锈病 严重度	条锈病 抗性	叶锈病 侵染型	叶锈病 抗性	编号	品种名称	种质类型	条锈病 严重度	条锈病 抗性	叶锈病 侵染型	叶锈病 抗性
1	台长29	CK	100%	极感	4	高感	31	一枝麦	农家品种	10%	中抗	4	高感
2	铭贤169	CK	65%	高感	4	高感	32	会宁10号	育成品种	10%	中抗	4	高感
3	兴义4号	育成品种	-	-	0	免疫	33	敌锈早	育成品种	25%	中抗	0;	近免疫
4	互助红	育成品种	-	-	2	中抗	34	小三月黄	农家品种	25%	中抗	0;	近免疫
5	白蒲落青	农家品种	0	免疫	4	高感	35	大白麦	农家品种	25%	中抗	2	中抗
6	梭条红麦	农家品种	1%	近免疫	0;	近免疫	36	洋麦	农家品种	25%	中抗	2	中抗
7	半截芒	农家品种	1%	近免疫	2	中抗	37	和尚麦	农家品种	25%	中抗	3	中感
8	阳麦	农家品种	1%	近免疫	2	中抗	38	复壮30	育成品种	25%	中抗	3	中感
9	红皮小麦	农家品种	1%	近免疫	3	中感	39	甘麦8号	育成品种	25%	中抗	3	中感
10	同家坝小麦	农家品种	1%	近免疫	3	中感	40	Orofen	引进品种	40%	中感	0	免疫
11	毕红穗	育成品种	1%	近免疫	3	中感	41	光头	农家品种	40%	中感	1	高抗
12	望水白	农家品种	1%	近免疫	4	高感	42	出山豹	农家品种	40%	中感	2	中抗
13	孛老汉	农家品种	1%	近免疫	4	高感	43	丰抗2号	育成品种	40%	中感	2	中抗
14	郑引4号	引进品种	5%	高抗	0	免疫	44	黄瓜先	农家品种	40%	中感	3	中感
15	浙麦1号	育成品种	5%	高抗	1	高抗	45	矮丰3号	育成品种	40%	中感	4	高感
16	汉中白	农家品种	5%	高抗	2	中抗	46	火燎麦	农家品种	65%	高感	0;	近免疫
17	长芒石扁头	农家品种	5%	高抗	2	中抗	47	白冬麦	农家品种	65%	高感	0;	近免疫
18	蚂蚱麦	农家品种	10%	中抗	2	中抗	48	大红麦	农家品种	65%	高感	2	中抗
19	芒小麦	农家品种	10%	中抗	2	中抗	49	红和尚头	农家品种	65%	高感	2	中抗
20	猪屎麦	农家品种	10%	中抗	2	中抗	50	洋麦	农家品种	65%	高感	3	中感
21	蚰子麦	农家品种	10%	中抗	3	中感	51	Fielder	引进品种	65%	高感	3	中感
22	小佛手	农家品种	10%	中抗	3	中感	52	白芒麦	农家品种	100%	极感	0;	近免疫
23	红花麦	农家品种	10%	中抗	3	中感	53	三月黄	农家品种	100%	极感	0;	近免疫
24	酱麦	农家品种	10%	中抗	3	中感	54	白火麦	农家品种	100%	极感	1	高抗
25	江西早	农家品种	10%	中抗	4	高感	55	山麦	农家品种	100%	极感	3	中感
26	糯麦	农家品种	10%	中抗	4	高感	56	科农199	育成品种	100%	极感	3	中感
27	阜阳红	农家品种	10%	中抗	4	高感	57	红芒麦	农家品种	100%	极感	4	高感
28	葛家乡	农家品种	10%	中抗	4	高感	58	白蚂蚱	农家品种	100%	极感	4	高感
29	老秃头	农家品种	10%	中抗	4	高感	59	日喀则8号	育成品种	100%	极感	4	高感
30	猪狗麦	农家品种	10%	中抗	4	高感							

注：“-”表示未获得数据

份材料的严重度低于25%，表现为抗病，占鉴定材料的63.6%；20份材料的严重度高于25%，表现为感病，占鉴定材料的36.4%。其中1份材料白蒲落青叶片无病斑，表现为免疫；8份材料红皮小麦、望水白、半截芒、孛老汉、同家坝小麦、阳麦、毕红穗和梭条红麦表现为近免疫，其中毕红穗和梭条红麦仅在叶片产生少量叶片褪绿斑，不产生夏孢子；4份材料汉中白、长芒石扁头、浙麦1号和郑引4号表现为高抗；江西早、糯麦等22份材料表现为抗或中抗，其中小三月黄叶片褪绿现象严重，叶片大面积枯死，仅发现少量夏孢子。抗病材料中，农家品种、育成品种、引进品种分别有28、6、1

份，农家品种所占比例较大。

2.2 叶锈病成株期鉴定结果

2019年6月上旬，对照品种铭贤169充分发病时，调查并记录参试材料的反应类型。鉴定结果(表2)表明，参试的57份材料中，有27份材料的反应型为0~2级，表现为抗病，占鉴定材料的47.4%；30份材料的反应型为3~4级，表现为感病，占鉴定材料的52.6%。其中有3份材料郑引4号、Orofen和兴义4号叶片无病斑，表现为免疫；有7份材料敌锈早、梭条红麦、小三月黄、火燎麦、白冬麦、白芒麦和三月黄产生坏死斑及少量夏孢子，表现为近免疫；3份材料光头、白火麦和浙麦1号表现为高抗；14份材料表现

为中抗;其余30份材料表现为中感或高感。

3 结论与讨论

复杂多变的气候环境与长期的栽培耕作历史,使得我国小麦种质资源非常丰富。对这些种质资源进行深度鉴定与评价是合理利用的前提,也是现代遗传育种的关键内容^[20-21]。以最少的资源数量,最大限度地代表一个作物遗传多样性的核心种质,是研究这种作物的重要群体,可有效提高对整个资源的管理和利用水平^[22]。自2003年董玉琛等^[23]初步建立我国小麦核心种质以来,国内育种家已对小麦核心种质进行了持续研究^[24-28],这些研究主要集中于生理指标和品质方面。丁艳红等^[18]、赵丽娜等^[29]和黄亮等^[30]对其中部分材料进行了叶锈病和条锈病苗期的抗性评价,但对其成株期抗性研究较少。小麦对条锈病与叶锈病的抗性都属于小种专化抗性,根据其遗传方式可分为质量抗性与数量抗性^[31-32]。质量抗性一般表现为苗期抗性,由1个或少数几个主效基因控制,容易随着病原菌小种的变化丧失抗性。数量抗性一般表现为成株期抗性,是由多个主效基因或微效基因共同作用产生的抗性,主要表现为潜育期长、孢子堆小、产孢量低、抗病性持久等特点。因此,挖掘并利用在不同环境下稳定且具有显著抗性的成株抗性QTL,对实现病害的持久防治具有重要意义。

目前国际上已公布的83个抗条锈病基因和79个抗叶锈病基因中,只有*Yr29*、*Yr48*、*Yr54*、*Lr12*、*Lr34*、*Lr46*等十几个成株期抗性基因,其余绝大多数都属于苗期抗性。本研究鉴定的57份小麦微核心种质中,具有条锈病成株抗性的材料有35份,具有叶锈病成株抗性的材料有27份,总占比超过全部材料的50%;兼抗2种病害的材料有14份,占全部材料的24.6%。表明我国小麦微核心种质中存在不少对条锈病或叶锈病具有成株抗性的品种,且以农家品种为主,育成品种和引进品种较少。在所有抗病材料中,对条锈免疫或近免疫的有9份,对叶锈免疫或近免疫的有10份,表明这些材料对我国条锈病的多个流行小种及叶锈病都能表现出良好抗性,在小麦抗条锈或叶锈病育种中可以多加选择利用。有3份材料梭条红麦、郑引4号和浙麦1号对2种病害的抗性都达到近免疫或高抗,在抗病育种中可同时进行条锈病和叶锈病的抗性选择,具有较高的利用价值。

研究证明,过分依赖单个基因抗性不仅会导

致该基因抗性迅速丧失,还容易使病原菌小种产生新的变异,与其他基因聚合则会产生累加效应^[33],能够显著提高品种的抗病性。据报道,抗叶锈病基因*Lr34*已丧失对叶锈病的抗性,而郑引4号中含有抗叶锈病基因*Lr34*^[29],但对叶锈病表现出很强的抗性,这表明郑引4号含有其他抗病基因,其抗病性是由*Lr34*与其他抗叶锈基因共同作用的结果。持续挖掘与合理利用小麦优良抗病资源,在品种选育时有目的地进行多种病害抗性基因的聚合或者一种病害多个抗病基因的聚合,有利于实现小麦抗原多样化与抗病基因合理布局,培育出具有持久抗性的优良品种,减少病害对小麦生产的威胁。

参考文献:

- [1] 汪可宁,谢水仙,刘孝坤,等.我国小麦条锈病防治研究的进展[J].中国农业科学,1988,21(2):1-8.
- [2] 国淑梅,牛贞福,张凯,等.45%烯肟·苯醚·噻虫嗪悬浮种衣剂对冬小麦主要病虫害田间防效研究[J].东北农业科学,2016,41(6):82-85.
- [3] 许凌凌.小麦条锈病研究进展[J].宜春学院学报,2019,41(6):76-80.
- [4] 郑慧敏,温晓蕾,郝晨阳,等.70份国外小麦品种(系)的苗期和成株期抗叶锈病鉴定[J].作物学报,2019,45(10):1455-1467.
- [5] 郑庆伟.2017年全国小麦中后期主要病虫害发生趋势预报[J].农药市场信息,2017,17(10):68.
- [6] 彭红,吕国强,王江蓉,等.河南省2015年小麦主要病害发生特点及原因分析[J].中国植保导刊,2016,36(4):29-33.
- [7] 杨作民,唐伯让,沈克全,等.小麦抗病育种的战略问题-小麦对锈病和白粉病二线抗源的建立和应用[J].作物学报,1994,20(4):385-394.
- [8] Li J B, Dundas L, Dong C M, et al. Identification and characterization of a new stripe rust resistance gene *Yr83*, on rye chromosome 6R in wheat[J]. Theoretical & Applied Genetics, 2020, 133: 1095-1107.
- [9] Qureshi N, Bariana H, Kumran V V, et al. A new leaf rust resistance gene *Lr79* mapped in chromosome 3BL from the durum wheat landrace Aus26582[J]. Theoretical & Applied Genetics, 2018, 131: 1091-1098.
- [10] 李振岐,商鸿生.中国农作物抗病性及其利用[M].北京:中国农业出版社,2005:6-18.
- [11] Wan A M, Zhao Z H, Chen X M, et al. Wheat stripe rust epidemic and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China in 2002[J]. Plant Disease, 2004, 88(8): 896-904.
- [12] 鲁传强,马丽杰,王保通,等.条形柄锈菌33号生理小种的分子标记[J].菌物学报,2015,34(6):1111-1117.
- [13] 刘博,刘天国,章振羽,等.中国小麦条锈菌条中34号的发现及其致病特性[J].植物病理学报,2017,47(5):681-687.
- [14] 陈万权,康振生,马占鸿,等.中国小麦条锈病综合治理理论与实践[J].中国农业科学,2013,46(20):4254-4262.

- [15] 刘三才,郑殿升,曹永生,等.中国小麦选育品种与地方品种的遗传多样性[J].中国农业科学,2000,33(4):20-24.
- [16] 刘太国,章振羽,刘博,等.小麦抗条锈病基因 *Yr26* 毒性小种的发现及其对我国小麦主栽品种苗期致病性分析[J].植物病理学报,2015,45(1):41-47.
- [17] 韩德俊,王琪琳,张立,等.“西北-华北-长江中下游”条锈病流行区系当前小麦品种(系)抗条锈病性评价[J].中国农业科学,2010,43(14):2889-2896.
- [18] 丁艳红,刘欢,师丽红,等.28个小麦微核心种质抗叶锈性分析[J].作物学报,2010,36(7):1126-1134.
- [19] Li Z F, Xia X C, He Z H, et al. Seedling and slow rusting resistance to leaf rust in Chinese wheat cultivars[J]. Plant Disease, 2010, 94(1): 45-53.
- [20] 张天真.作物育种学总论[M].北京:中国农业出版社,2003:20-22.
- [21] 姜昱,王玉民,王中伟,等.转基因技术在我国小麦遗传改良方面的研究进展[J].东北农业科学,2008,33(6):38-40.
- [22] 徐海明,胡晋,朱军,等.构建作物种质资源核心库的一种有效抽样方法[J].作物学报,2000,26(2):157-162.
- [23] 董玉琛,曹永生,张学勇,等.中国普通小麦初选核心种质的产生[J].植物遗传资源学报,2003,4(1):1-8.
- [24] 郝晨阳,董玉琛,王兰芬,等.我国普通小麦核心种质的构建及遗传多样性分析[J].科学通报,2008,53(8):908-915.
- [25] 吴澎,陈建省,田纪春,等.137个微核心种质资源植酸含量的聚类分析[J].中国粮油学报,2010,25(10):19-23.
- [26] 石荣丽,邹春琴,芮玉奎,等.ICP-AES测定中国小麦微核心种质籽粒矿质养分含量[J].光谱学与光谱分析,2009,29(4):1104-1107.
- [27] 冯继明,张海萍,常成,等.穗发芽抗性 STS 标记 *Vp1B3* 在中国小麦微核心种质中的检测[J].分子植物育种,2008,6(6):1075-1079.
- [28] 吕国锋,张伯桥,张晓祥,等.中国小麦微核心种质中弱筋种质的鉴定筛选[J].中国农学通报,2008,23(10):270-273.
- [29] 赵丽娜,任晓娣,胡亚亚,等.23份中国小麦微核心种质抗叶锈性评价[J].中国农业科学,2013,46(3):441-450.
- [30] 黄亮,刘太国,刘博,等.我国197份小麦核心种质资源对小麦条锈菌新小种 *CYR34* 的抗性评价[J].植物保护,2019,45(1):153-159.
- [31] 曾庆东,吴建辉,王琪琳,等.持久抗病基因 *Yr18* 在中国小麦抗条锈育种中的应用[J].麦类作物学报,2012,32(1):13-17.
- [32] 闫晓翠,李在峰,杨华丽,等.30个重要小麦生产品种抗叶锈性基因分析[J].中国农业科学,2017,50(2):272-285.
- [33] 赵霞,王长彪,赵兴华,等.小麦抗病相关基因聚合育种的研究进展[J].山西农业科学,2017,45(2):308-313.

(责任编辑:刘洪霞)

(上接第8页)根系活力增强,对小豆植株的生长发育起促进作用,从而提高了产量。成熟期调查结果表明,经过腐殖酸处理的4个小豆品种的植株鲜重、植株干重、单株成熟荚数、产量均显著高于未施用腐殖酸的植株,差异达到显著水平。

综上所述,施用腐殖酸 15 g/m^2 能不同程度地促进小豆叶片和根系的生长,增加叶面积、植株鲜重、植株干重、单株成熟荚数,显著增强根系活力,从而有效提高产量,研究结果为辽宁地区小豆绿色生产与提质增效奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 孙蔚.土壤肥料在农业持续发展中的地位和作用研究[J].山西农经,2014(6):33-35.
- [2] 李秀青.农业可持续发展中土壤肥料相关问题分析[J].河南农业,2017(17):22-23.
- [3] 肖瑶,蒋宇洲,李迪,等.腐殖酸复混肥对重茬烤烟氮吸收和产量的影响[J].黑龙江农业科学,2016(11):49-53.
- [4] 李玉知.腐殖酸肥料的作用与使用技术[J].河北农业,2015(10):32-35.
- [5] 张瑜,王若楠,邱小倩,等.腐殖酸对植物生长的促进作用[J].腐殖酸,2018(2):5-9.
- [6] 吕玮,李玉环,张军,等.基于不同腐殖酸供应水平下小麦叶片理化参数及其光谱响应分析[J].华北农学报,2017,32(5):232-238.

- [7] 庄振东,李絮花,张健,等.冬小麦-夏玉米轮作制度下腐殖酸氮肥去向与平衡[J].水土保持学报,2016,30(6):201-206.
- [8] Canellas L P, Piccolo A, Dobbss L B, et al. Chemical composition and bioactivity properties of sizefractions separated from a vermicompost humic acid[J]. Chemosphere, 2010, 78(4): 457-466.
- [9] 高娃,郜翻身,赵春晓,等.含腐殖酸复合肥对马铃薯产量的影响[J].现代农业,2018(3):52-53.
- [10] 郭洋.不同氮磷肥处理对红小豆生长发育及产量的影响[D].保定:河北农业大学,2012.
- [11] 郭中校,王明海,包淑英,等.绿豆和红小豆氮磷钾肥适宜用量初探[J].吉林农业科学,2010,35(2):24-26.
- [12] 陈剑,敖雪,姚兴东,等.施氮肥对不同株型赤豆品种光合生理、干物积累及产量的影响[J].江苏农业科学,2018,46(23):90-93.
- [13] 薛仁风,丰明,赵阳,等.不同生物有机肥对绿豆生长与生理特性的影响[J].东北农业科学,2019,44(4):9-12,71.
- [14] 张敬敏,桑茂朋,刘春生,等.不同水分下腐殖酸对杨树生长和土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2013,29(31):64-68.
- [15] 邢尚军,刘方春,杜振宇,等.腐殖酸肥料对杨树生长及土壤性质的影响[J].水土保持学报,2009,23(4):126-129.
- [16] 张吉立.旅游景观园林早熟禾合理施肥试验研究[J].中国土壤与肥料,2012(4):65-69.
- [17] 张敬敏,邢尚军,桑茂朋,等.不同水分下腐殖酸对杨树生理生化特性和生长的影响[J].水土保持学报,2010,24(6):200-203.

(责任编辑:刘洪霞)