

## 旱作条件下油菜根茬对玉米两种土传病害的生防作用

刘哲辉<sup>1</sup>, 张利艳<sup>1</sup>, 康继平<sup>2</sup>, 张春雷<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院油料作物研究所/农业部油料作物生物学重点开放实验室, 湖北 武汉, 430062;

2. 天水市农业科学研究所甘谷试验站, 甘肃 天水, 741200)

**摘要:**为探究多熟种植模式下油菜根茬对玉米土传病害的防治效应,在湖北襄阳和甘肃甘谷两地连续进行了两年的油菜—玉米、小麦—玉米轮作试验。通过对后茬玉米接种丝黑穗病原菌和纹枯病病原菌,考察两种种植模式下后作玉米土壤养分、微生物特性、土传病害发生率以及作物产量。结果表明,油菜根茬粉碎还田提高了土壤有效氮、磷、钾的含量,在整个试验周期,土壤有机质含量显著增加;油菜茬后作土壤中的细菌数量增加,而真菌减少。调查土传病害发生情况显示,油菜根茬生物熏蒸作用降低了后作玉米两种土传病害的发生率。与小麦茬后玉米相比,油菜茬后玉米产量显著提高。说明在油菜—玉米种植模式下,油菜根茬能培肥地力、改良土壤微生物环境,而且油菜根茬所具有的生物熏蒸作用对玉米土传病害有抑制作用,有利于提高后作玉米产量。

**关键词:**油菜;根茬;生物防治;硫代葡萄糖苷;土传病害**中图分类号:**S565.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-9084(2017)05-0674-07**Bio-control effects of rapeseed stubbles on two soil-borne diseases of maize under dry-land planting system**LIU Zhe-hui<sup>1</sup>, ZHANG Li-yan<sup>1</sup>, KANG Ji-ping<sup>2</sup>, ZHANG Chun-lei<sup>1\*</sup>

(1. Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Oil Crop Biology, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China;

2. Gangu Trail Station of Tianshui Agricultural Science Research Institute, Tianshui 741200, China)

**Abstract:** To investigate bio-control of decomposed rape stubbles on soil-borne diseases in maize under multiple cropping pattern, alternate cropping experiments with rape-maize and wheat-maize were carried out in 2 dryland producing areas for 2 consecutive years. Soil nutrient, microbial characteristics, incidence of soil-borne diseases and crop yield were investigated by inoculation of *Sphacelotheca reiliana* and *Rhizoctonia solani* on rape stubble in these 2 cropping patterns. Results showed that available NPK nutrient in soil increased with rape stubbles crushing and returning to field continuously. Soil organic matter increased significantly during the entire experiment period. Bacteria quantity in soil increased while fungi quantity decreased. The occurrence of soil-borne diseases showed that bio-fumigation effect of rape stubble reduced incidence of these two soil-borne diseases. Compared with wheat-maize rotation pattern, maize yield in rape-maize rotation pattern was significantly improved, meaning that rape stubbles played an important role in fertilizing soil and improving microflora environment in soil. In addition, rape stubble had an inhibitory effect on these 2 soil-borne diseases in maize, which was conducive to improve the yield of succeeding maize.

**Key words:** rapeseed; stubbles; bio-control; glucosinolate glucoside; soil-borne disease

土传病害是指生活在土壤中的病原体或土壤中病株残体上的病菌在条件适宜时萌发,从作物根部或茎部侵染,引起根部、茎部甚至全株的植物病

害<sup>[1]</sup>,已成为限制现代农业生产可持续发展的重要因素。土传病原物的分类有真菌、细菌、线虫和病毒等,能够引起各种作物土传病害。土壤中的寄主植

收稿日期:2017-05-17

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题(2014BAD11B03);国家油菜产业技术体系建设(CARS-13)

作者简介:刘哲辉(1990-),男,湖北孝感人,硕士研究生,主要从事油菜生防作用研究,E-mail:lzh606@163.com

\*通讯作者:张春雷(1960-),男,研究员,博士,博士生导师,主要从事油菜生理与栽培技术研究,E-mail:zhangchunlei@caas.cn

物、病原物质、有益微生物三者之间相互制约、相互竞争的结果表现在土传病害的发病程度<sup>[2]</sup>。我国各玉米产区主要的土传病害有全蚀病、茎基腐病、丝黑穗病和纹枯病等<sup>[3]</sup>。近年来,由于在农业生产中过分追求高产而使用不合理的种植制度导致生态失衡,以及过量使用农药化肥导致的土壤内环境恶化使玉米土传病害有逐年加重的趋势,一般年份发病率在 10% ~ 30%,严重时可达到 60% 以上<sup>[2,4,5]</sup>。就目前植物保护科学发展的水平,化学农药防治仍是最方便、最有效的手段,但农药的过度使用会影响作物品质<sup>[6]</sup>、污染环境<sup>[7]</sup>等。因此,寻找高效且环境友好型的土传病害治理方法和通过科学的种植模式改变土传病害的发生状况已是当今社会重点研究课题之一。

油菜是我国广泛种植的芸薹属作物 (*Brassica* spp.), 长期以来人们对它的认识只停留在是重要的油料作物、能源作物和富含高附加值产品的作物等<sup>[8]</sup>,但油菜因具有生物熏蒸作用还是一种“绿肥绿药”作物<sup>[9]</sup>。生物熏蒸 (biofumigation) 是特指利用芸薹属植物组织中硫代葡萄糖苷 (glucosinolates, GSL) 分解产生的异硫氰酸酯 (isothiocyanates, ITC) 类挥发性化合物抑制或杀死土壤中的多种有害生物<sup>[10]</sup>。这一反应通过两个在植物中天然被隔离开的化合物进行反应: 硫苷和黑芥子酶 (myrosinase), 硫苷本身化学性质稳定、无生物活性,且在植物亚细胞区室中被多价螯合,而黑芥子酶是在芥子酶细胞液泡内,只有植物组织遭到损害 (如害虫侵袭、机械损伤、自然腐败降解等) 时,细胞的代谢区隔被破坏,引发“芥子气爆炸”,即硫苷与黑芥子酶相遇而发生水解反应<sup>[11]</sup>,水解产物包括恶唑烷硫酮、腈类、异硫氰酸脂类等。其中具有生物活性的物质主要是异硫氰酸脂类,具体结构由其来源的母体 GSLs 有机侧链的种类 (脂肪族、芳香族或吡啶族) 和环境因素决定<sup>[12]</sup>。ITC 具有抑制植物寄生线虫、杂草<sup>[13]</sup>、病原真菌<sup>[14]</sup> 的功能,并能改善土壤结构,提高作物产量<sup>[15]</sup>。有试验报道其防治效益与主要成分是异硫氰酸甲酯 (MITC) 的化学熏蒸剂棉隆 (Dazomet) 相近<sup>[16]</sup>。

发达国家多使用盛花期油菜用于生物熏蒸<sup>[17]</sup>,而中国人多地少,很难大规模专门种植油菜用作生物熏蒸,但油菜收获后会遗留丰富的根茬组织,农民为省时省力多废弃、焚烧,造成了资源浪费和污染环境<sup>[18]</sup>。通过对油菜根系抑菌活性测定,发现在抑制病原真菌中的作用中,油菜根的硫苷组分与分量占主要地位<sup>[19]</sup>。而在生产实践中利用油菜根茬生物

熏蒸作用防治作物土传病害的研究还未见报道。本试验在早作条件下,研究油菜根茬和小麦根茬对后作玉米两种土传病害 (纹枯病和丝黑穗病) 的防治效果,以及对土壤养分和作物产量的影响,探索油菜根茬生物熏蒸作用在防治玉米土传病害上的可行性,为油菜根茬资源的合理利用和农田养分科学管理提供依据,促进油菜在多熟种植模式中生防作用的应用和推广。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

植物材料: 甘谷县试验点油菜品种为甘杂 1 号、小麦品种为天选 52 号、玉米品种为长城 799,由天水市农业科学研究院提供;襄北农场油菜品种为中双 9 号、小麦品种为漯河 6010、玉米品种为郑单 958,由襄阳市农业科学研究所提供。上述作物品种均为在试验地区多年广泛种植的主栽品种。

病原菌材料: 玉米纹枯病病原菌立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*), 取自华中农业大学植物科学与技术学院,玉米丝黑穗病菌病原菌丝轴团散黑粉菌 (*Sporisorium relianum* (Kühn.) Langdon & Fullerton) 取自山西农业大学植物病理实验室。病原菌培养基为 PDA (potato dextrose agar) 培养基 (马铃薯葡萄糖琼脂培养基) 和蛋白胨葡萄糖孟加拉红培养基 (Rose Bengal medium), 购自青岛高科园海博生物技术有限公司。

### 1.2 试验设计

田间试验于 2014 - 2015、2015 - 2016 年度分别在湖北省襄阳市襄北农场 (112°45' E, 32°14' N) 和甘肃省天水市甘谷试验站 (104°68' E, 34°51' N) 两个试验点连续进行两个年度的重复种植试验。在襄北农场选取两块多年进行小麦 - 玉米、油菜 - 玉米轮作的供试田,在油菜和小麦成熟后分别用机械留茬 35 ~ 40cm 收获,用机械粉碎秸秆 (秸秆长度 < 3cm) 后,再用旋耕机将秸秆、根茬混入耕层土壤 (0 ~ 20cm 土层)。在油菜茬和小麦茬两组试验田分别设置不接菌对照、接种玉米丝黑穗病原菌、接种玉米纹枯病原菌三种处理。丝黑穗病菌采用 1% 菌土覆盖法<sup>[20]</sup>接种,纹枯病菌采用燕麦粒法<sup>[21]</sup>接种。玉米按行距 50cm、株距 30cm 进行播种,小区面积 40m<sup>2</sup>。采用随机区组试验方法,每处理设 3 次重复。各小区间的播种量、施肥量及施肥时间、灌水、病虫害防治等田间管理措施均保持一致,试验地其他管理措施按照当地习惯,采取常规管理。甘谷试验站试验设置同襄北农场。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 玉米土传病害发生情况调查 玉米丝黑穗病发病率:在玉米成熟期丝黑穗病症状充分显现后,分别逐株调查油菜茬和小麦茬两组试验田中接种过丝黑穗病菌的各小区的总株数和发病株数。按下列公式计算发病率:发病率(%)=(发病株数/调查总株数)×100%。玉米纹枯病病情指数:按国际小麦玉米改良中心(CIMMYT)制定的分级标准划分<sup>[22]</sup>。依据下面的公式计算纹枯病发病率*P*和病情指数 *Index*:

$$P = \frac{n}{N} \times 100\%$$

*Index* =

$$\frac{1 \times x_1 + 2 \times x_2 + 3 \times x_3 + 4 \times x_4 + 5 \times x_5}{5 \times (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)} \times 100\%$$

式中:*n*、*N* 分别表示发病的茎秆数和调查的总茎秆数;*x*<sub>1</sub>、*x*<sub>2</sub>、*x*<sub>3</sub>、*x*<sub>4</sub>、*x*<sub>5</sub> 分别表示玉米纹枯病 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级的茎秆数。

1.3.2 土壤肥力测定 于 2015 年 9 月 24 日在襄北农场玉米收获后用土钻分别采集两块试验田土样(0~20cm),每小区散点取样过筛,在将油菜茬、小麦茬粉碎翻耕入土包埋后,于 2016 年 6 月 6 日玉米播种前再次对两块试验田分别取土样。每组试验田取 3 个重复,甘谷试验站土壤取样标准同襄北农场。测定土壤有机质、速效氮、速效钾、速效磷的含量,检测标准为:LY/T 1228-2015 森林土壤氮的测定;LY/T 1232-2015 森林土壤磷的测定;LY/T 1234-2015 森林土壤钾的测定;LY/T 1237-1999 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算。

1.3.3 土壤微生物特性测定 按 1.3.2 取土样,储存于 4℃ 冰箱。每组试验田取 3 个重复,用于测定土壤中真菌、放线菌、细菌的含量。样品送至青岛科标检测公司进行测定,测定标准为:GB/T 13093-2006 饲料中细菌总数的测定;GB 4789.15-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数;NY/T 227-1994 微生物肥料;GB/T 13092-2006 饲料中霉菌总数的测定。

1.3.4 玉米产量及产量构成因素测定 生长指标测定:玉米完熟后,每小区取 10 株代表性植株,分别测定株高、茎粗、穗数、穗粒数、穗行数、穗位高、千粒重,计算单株理论产量;产量测定:玉米完熟后,每个小区取 10m<sup>2</sup> 样方,记录有效穗数。

1.3.5 数据统计 实验数据采用 Excel 2013 完成制表、SigmaPlot 12.5 软件作图,并用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析,用 LSD 法(最小显著性差

异法)检验  $P < 0.05$  水平上的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 油菜根茬对土壤肥力的影响

由表 1 可知,两种茬口下土壤养分差异明显,其中油菜茬后土壤中速效氮、有效磷、有效钾均显著高于小麦茬后作土壤,在两个周年试验后,油菜茬后作土壤中的有机质含量也显著高于小麦茬后作土壤( $P < 0.05$ ),前者比后者高约 7.78%。由此表明,相比小麦根茬,油菜根茬在土壤中腐败分解的过程中释放出了更多的可溶性 N、P、K,增加了土壤肥力。

表 1 两种茬口下土壤肥力差异

Table 1 Effects of two stubble on soil fertility

测定项目 Item	油菜茬 Rape stubble	小麦茬 Wheat stubble
速效氮/(mg/kg) Available nitrogen	0.751 a	0.710 b
有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	0.643 a	0.584 b
有效钾/(mg/kg) Available potassium	14.9 a	13.6 b
有机质/(g/kg) Organic materials	20.8 a	19.3 b

注:同一行不同小写字母表示在  $\alpha = 0.05$  水平下的差异显著性。下同

Note: Different lowercase letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level

### 2.2 油菜根茬对土壤微生物群落的影响

由表 2 可知,油菜、小麦两种茬口种植及把根茬切碎入土包埋后,对土壤中的微生物包括细菌、真菌、放线菌产生了差异化的影响。油菜茬后作土壤相比小麦茬后作土壤中,放线菌数量有所降低,但无显著性差异( $P > 0.05$ );真菌的数量显著减少,油菜茬处理土壤中真菌的数量约是小麦茬处理的 30%;细菌的数量油菜茬处理显著高于小麦茬处理,前者细菌数量是后者的 1.41 倍。由此表明,油菜茬后作土壤环境更有利于细菌增殖,而不利于真菌的增殖。

表 2 两种根茬粉碎入土包埋后土壤中微生物群落差异  
Table 2 Difference of microbial community in soil after embedding two kinds of root stubble

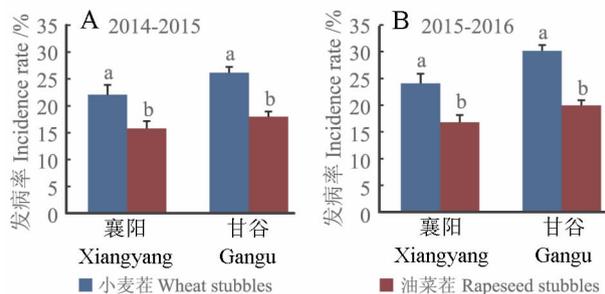
测定项目 Measure the project	油菜茬 Rape stubble	小麦茬 Wheat stubble
细菌 Bacterial/(CFU/g)	$2.4 \times 10^6$ a	$1.7 \times 10^6$ b
真菌 Fungi/(CFU/g)	$1.5 \times 10^5$ a	$4.6 \times 10^5$ b
放线菌 Actinomycetes/(个/g)	$1.1 \times 10^3$ a	$1.3 \times 10^3$ a

### 2.3 油菜根茬对玉米两种土传病害的抑制作用

#### 2.3.1 油菜根茬对玉米丝黑穗病发生率的影响

由图 1 可知,在 2 个试验点两个试验年度的试验中,相对于小麦茬后种植的玉米,油菜茬后种植的玉米

其丝黑穗病发生率均显著下降,其中在 2014 - 2015 年度襄北农场试验点,降低幅度约为 31.4%。同样,在甘谷试验站,相比小麦根茬,油菜根茬对丝黑穗病的发生有显著抑制作用( $P < 0.05$ )。在 2015 - 2016 年度两个试验点中,两种根茬处理下玉米丝黑穗病发生率均有相似的变化规律,且相比 2014 - 2015 年,两个试验点小麦茬后作玉米丝黑穗病的发生率呈现出增长的趋势,而油菜茬并未有显著变化。最可能的解释是上季玉米丝黑穗病病穗在收获时落入土壤中形成病原孢子,而油菜生长过程中落花落叶和根系腐解产生的生物熏蒸作用抑制了孢子的萌发。



注:图 A、B 分别表示 2014 - 2015 年度和 2015 - 2016 年度襄阳和甘谷试验点不同处理下玉米丝黑穗病的发病率。不同小写字母表示处理间的差异显著( $P < 0.05$ ),下同

Note: A; head smut of maize in different treatments at Xiangyang and Gangu test sites in 2014 - 2015; B; maize head smut at different treatments at Xiangyang and Gangu in 2015 - 2016. Content followed by different letters were significantly different at 0.05 level. Same as below

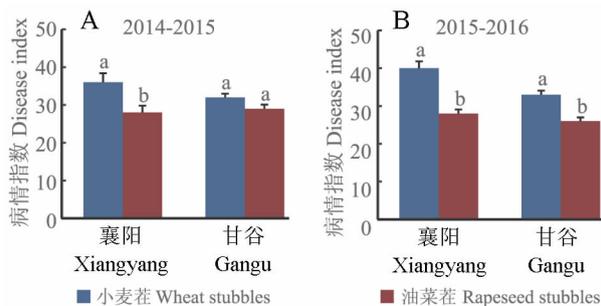
图 1 油菜、小麦根茬处理下玉米丝黑穗病发生情况  
Fig. 1 Maize head smut disease under rape root - stubbles and treatments

由此可以看出,油菜根茬对玉米丝黑穗病菌有抑制作用,能够在一定程度上减少后作玉米丝黑穗病的发生率。但作物土传病害的发生受土壤理化性状、土壤微生物等多种因素影响<sup>[2]</sup>,油菜茬后作玉

米丝黑穗病发生的减少是否与其生物熏蒸作用直接相关还有待进一步研究。

2.3.2 油菜根茬对玉米纹枯病病情指数的影响

由图 2 可知,在 2 个试验点两个试验年度的试验中,相对于小麦茬,油菜茬后种植的玉米其纹枯病病情指数呈下降趋势,其中在 2014 - 2015 年度襄阳试验点和 2015 - 2016 年度襄阳及甘谷试验点,在油菜根茬作用下,玉米纹枯病病情指数显著下降( $P < 0.05$ );但 2014 - 2015 年度甘谷试验点油菜茬和小麦茬对纹枯病病情指数的影响无显著差异( $P > 0.05$ )。相对于 2014 - 2015 年度,2015 - 2016 年度两个试验点小麦茬后玉米纹枯病发生率有增长趋势;两个试验点上油菜茬后作玉米纹枯病发生程度与小麦茬后作玉米的差异,相比 2014 - 2015 年度有所扩大。因此,油菜根茬对玉米纹枯病的发生有一定抑制作用,但在生产实践中,其抑制效果的稳定性与地区和年份有关。



注:A、B 分别表示 2014 - 2015 年度和 2015 - 2016 年度襄阳和甘谷试验点不同处理下玉米纹枯病病情指数

Note: A; disease index of corn sheath blight at different sites of Xiangyang and Gangu in 2014 - 2015; B; disease index of corn sheath blight under different treatments at Xiangyang and Gangu in 2015 - 2016

图 2 油菜、小麦根茬处理下玉米纹枯病的病情指数  
Fig. 2 Corn sheath blight disease index under different stubbles treatments

表 3 2014 - 2015 年度不同茬口的玉米生长指标  
Table 3 Maize growth index under different rotation in 2014 - 2015

试验地点/年 Trail site/year	处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stems thick/mm	穗位高 Ear height/cm	穗行数 Number of rows of ear	行粒数 Number of rows	
2014 - 2015	甘谷 Gangu county	小麦茬 Wheat stubble	234.81 a	39.63 a	98.73 a	16 a	38 a
		油菜茬 Rape stubble	238.31 a	40.48 a	102.33 a	17 a	40 a
	襄北农场 Xiangbei farm	小麦茬 Wheat stubble	189.93 a	22.56 a	79.58 a	15 a	38 a
		油菜茬 Rape stubble	193.47 a	23.08 a	82.33 a	15 a	39 a
2015 - 2016	甘谷 Gangu county	小麦茬 Wheat stubble	228.72 a	38.01 a	94.64 a	15 a	34 a
		油菜茬 Rape stubble	236.82 b	39.09 a	100.25 a	15 a	36 a
	襄北农场 Xiangbei farm	小麦茬 Wheat stubble	185.81 a	21.07 a	78.33 a	14 a	39 a
		油菜茬 Rape stubble	191.43 a	23.49 a	80.56 a	15 a	41 a

注:同列数据后不同小写字母表示在  $\alpha = 0.05$  水平写的差异显著性  
Note: Different lowercase letters in the same column represent significance at 0.05 level

## 2.4 两种茬口下玉米生长指标及产量构成的差异

2.4.1 两种茬口下玉米生长指标差异 由表3可知,在2014-2015年度,甘谷试验点和襄北农场试验点油菜茬后作玉米的株高、茎粗、穗位高、穗行数、行粒数均高于小麦茬后作玉米,但差异不显著。在2015-2016试验年度中,两种茬口下玉米生长指标有相似的差异规律,但在甘谷试验点,油菜茬后玉米株高显著高于小麦茬后玉米。

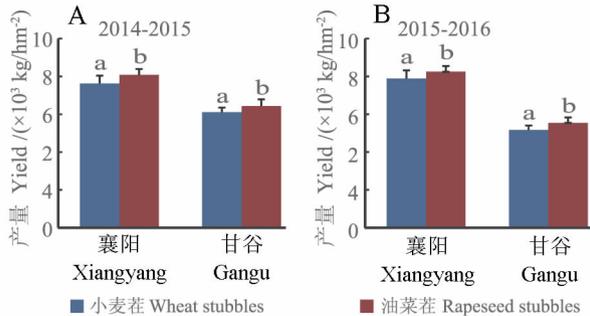
2.4.2 两种茬口下玉米产量构成差异 由表4可知,在两个试验点的两个试验年度中,油菜茬后作玉米的小区有效穗数均显著大于小麦茬后作玉米的小区有效穗数( $P < 0.05$ )。

表4 不同茬口下玉米的小区穗数

Table 4 Number of spike of maize in different stubble

小区有效穗数 Effective number of spikes	试验点 Test site	小麦茬 Wheat stubble	油菜茬 Rape stubble
2014-2015	襄阳 Xiangyang	87 a	94 b
	甘谷 Gangu	78 a	84 b
2015-2016	襄阳 Xiangyang	92 a	102 b
	甘谷 Gangu	71 a	77 b

注:同一行不同小写字母表示在 $\alpha = 0.05$ 水平下的差异显著性  
Note: Different lowercase letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level



注:A、B分别表示2014-2015年度和2015-2016年度襄阳和甘谷试验小麦茬和油菜茬后作玉米产量

Note: A: yield of maize after two stubbles in Xiangyang and Gangu in 2014-2015; B: yield of maize after two stubbles in Xiangyang and Gangu in 2015-2016

图3 油菜-玉米和小麦-玉米两种种植模式下玉米的产量差异

Fig. 3 Yield difference of maize in rape-maize and wheat-maize cropping patterns

由图3所示,油菜茬后作玉米的产量比小麦茬后作玉米产量均有显著提高( $P < 0.05$ )。2014-2015年度在襄北农场的试验中,油菜茬后作玉米的产量为 $8\ 080.5 \text{ kg/hm}^2$ ,小麦茬后作玉米产量为 $7\ 622.8 \text{ kg/hm}^2$ ,前者比后者提高了7.16%;在甘谷试验点,油菜茬后作玉米的产量为 $6\ 433.6 \text{ kg/hm}^2$ ,小麦茬后作玉米产量为 $6\ 112.9 \text{ kg/hm}^2$ ,前者比后者提高了5.25%。2015-2016年度在襄北农场的试验中,油菜茬后作玉米的产量比小麦茬后作玉米产量

提高了5.80%;在甘谷试验点,前者比后者产量提高了6.82%。在2016年度,甘谷试验点遭遇严重干旱,因此两种茬口下的玉米产量相比2014-2015年度均有所降低,但油菜茬口玉米产量仍显著高于小麦茬口( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论与结论

### 3.1 油菜根茬对后作土壤肥力和微生物群落的影响

李春勃等<sup>[23]</sup>研究表明油菜根茬具有肥田作用,能提高土壤有机质含量,使土壤中迟效性的氮磷营养物质有效化。在本试验中也得到类似的结果:相比小麦茬,油菜茬后作土壤中的有效氮、磷、钾和有机质含量均增加。这一方面是因为油菜根茬在土壤中的分解,直接为土壤带来了部分N、P、K等营养元素;另一方面是油菜根系的活动使某些有益菌增加,这些微生物的活动影响了土壤中营养元素的含量。蔡常被<sup>[24]</sup>发现种植油菜后土壤中的氮化细菌增多,而氮化细菌是一种能把土壤中植物不能直接吸收利用的有机氮化物分解为易被植物吸收的氮的有益微生物。此外,Thorup等<sup>[25]</sup>对十字花科植物如萝卜(*Raphanus sativus*)、白芥子(*Sinapis alba*)、冬油菜与豆科和禾本科植物作比较,发现十字花科植物对土壤矿物质中析出的氮素有更强的捕获能力。在土壤的三大微生物类群细菌、真菌、放线菌中细菌占主要部分,它在植物根系的微生态环境中对物质转化和能量转移起极其重要的作用<sup>[26]</sup>。在本研究中,油菜根茬翻压还田后土壤中的细菌增加,真菌的数量减少,土壤类型表现出由真菌型土壤向细菌型土壤的一种转变趋势,说明油菜根茬在腐败过程中发生的物理化学变化为细菌的生长繁殖提供了有利条件而不利于真菌的增殖,因为不同来源的有机质因结构特性及组分差异,往往会被不同的微生物群体所利用<sup>[20]</sup>,其引起的微生物群落结构变化也会有差异。Ellis等<sup>[27]</sup>认为,细菌型土壤是土壤肥力提高的一个生物学标志,而真菌型土壤则是地力衰竭的标志,真菌群落数量的增加,意味着土传病害的加重,因为多种土传病害的发生都是由真菌型微生物引起的。本试验中的两种病原菌玉米纹枯病菌和丝黑穗病菌均属于真菌型微生物,也印证了油菜茬后作物玉米真菌病害发生减少的结果。

### 3.2 油菜根茬生物熏蒸对玉米土传病害的生防作用

生物熏蒸是利用芸薹属植物降解过程中释放的异硫氰酸酯抑制土传病原菌、线虫或杂草,是一种广谱性的杀伤作用<sup>[28]</sup>,从芥菜组织破解释放出的烯丙

基 ITC 已被证明能在体外抑制多种植物病原菌包括腐霉和水稻纹枯病菌等<sup>[29]</sup>。本试验中,油菜根茬对玉米丝黑穗病和纹枯病也表现出了显著的抑制作用。但油菜根茬作为生物熏蒸材料入土包埋后,其降解过程中还会产生一些非硫苷或异硫氰酸酯物质如腈、恶唑烷硫酮和离子硫氰酸盐等<sup>[30,31]</sup>,这些物质对玉米土传病原菌的影响还有待研究。Morra<sup>[30]</sup>发现在掺入芸薹属组织后,病原菌受抑制大部分源于离子型硫氰酸盐的作用而不是异硫氰酸酯。此外,从试验结果中也可以看到不同地区油菜茬后作玉米的土传病害发生情况也不相同,原因是玉米土传病害的发生受多种因素共同作用,土壤内环境如水分、pH、通气、养分状况<sup>[1]</sup>、微生物特性<sup>[2]</sup>,以及作物品种本身对土传病原菌的抗性等都能对土传病害的发生产生影响。因此,还有待进一步研究油菜根茬对玉米土传病害的抑制机理和应用策略。

### 3.3 油菜根茬粉碎还田对玉米产量的影响

产量是决定一项耕作技术在生产实践中有无推广应用价值的关键因素。在本试验中,相比小麦茬,油菜茬后作玉米的产量有显著增加。通过考种数据分析发现,这种差异主要来源于玉米有效穗数的不同。丝黑穗病菌的主要危害对象是玉米的雄穗与雌穗,其感染玉米后,雄蕊无法产生花粉<sup>[32]</sup>,因此不能进行正常的生殖生长,以至于无法形成果穗,最终影响产量;而玉米纹枯病菌主要侵染玉米茎秆和叶片,纹枯病发生严重时,玉米茎秆甚至会折断,严重影响玉米生长发育和成熟<sup>[21]</sup>,因而玉米有效穗数与两种土传病害的发生程度成负相关性。而油菜及其根茬由于自身含有硫甙葡萄糖苷而具有的生物熏蒸作用,一定程度上抑制了玉米纹枯病和丝黑穗病的发生,增加了玉米有效穗数,减少了土传病害对玉米产量的影响。因此,在旱地多熟种植模式中,油菜-玉米这一轮茬种植模式下,油菜根茬粉碎翻压还田不仅能有效利用根茬资源,而且还能在一定程度上抑制土传病害的发生,增加土壤肥力,提高后作玉米的产量。

### 参考文献:

[1] 刘欣红. 设施蔬菜土传病害的成因及防治技术[J]. 现代农村科技, 2008(10): 19-19.  
 [2] 杨丽丽, 康少杰. 保护地土传病害生物防治研究进展[J]. 现代农业科技, 2012(8): 187-189.  
 [3] 郑俊强, 高增贵, 庄敬华, 等. 玉米土传病害生物防治的研究进展[J]. 玉米科学, 2005, 13(1): 111-114.  
 [4] 宋淑云. 玉米土传病害研究现状[J]. 吉林农业科学, 1996(3): 43-48.

[5] 李世东, 缪作清, 高卫东. 我国农林园艺作物土传病害发生和防治现状及对策分析[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(4): 433-440.  
 [6] 张秀玲. 中国农产品农药残留成因与影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.  
 [7] Arias M, Lopez E, Martínez E, et al. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2008, 123(4): 247-260.  
 [8] 官春云. 优质油菜生理生态和现代栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.  
 [9] Kirkegaard J. Third International Biofumigation Symposium[C]. 2008.  
 [10] Angus J F, Gardner P A, Kirkegaard J A, et al. Biofumigation: isothiocyanates released from Brassica roots inhibit growth of the take-all fungus[J]. Plant and Soil, 1994, 162: 107-112.  
 [11] Palmieri S. Use of Crucifers containing the glucosinolate-myrosinase system as a source of bioactive molecules[A]. The 12th International Rapeseed Congress[C]. 2007. 65.  
 [12] Rosa E A S, Heaney R K, Fenwick G R, et al. Glucosinolates in crop plants[J]. Horticultural Reviews, 2010, 19: 99-215.  
 [13] Haramoto E R, Gallandt E R. Brassica cover cropping for weed management: A review[J]. Renewable Agriculture & Food Systems, 2004, 19(4): 187-198.  
 [14] Kirkegaard J A, Sarwar M, Matthiessen J N. Assessing the biofumigation potential of crucifers[J]. Acta Horticulturae, 1998, 459(459): 105-111.  
 [15] Riga E, Mojtahedi H, Ingham R E, et al. Green manure amendments and management of root-knot nematodes on potato in the Pacific Northwest of USA[J]. Nematology Monographs and Perspectives, 2004(2): 151-158.  
 [16] Sarwar M, Kirkegaard J A, Wong P T W, et al. Biofumigation potential of brassicas. 3. *In vitro* toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens[J]. Plant & Soil, 1998, 201(1): 130-112.  
 [17] Kruger D H M, Fourie J C, Malan A P. Cover crops with biofumigation properties for the suppression of plant-parasitic nematodes: a review[J]. South African Journal for Enology & Viticulture, 2013, 34(2): 287-295.  
 [18] 宋莉, 韩上, 鲁剑巍, 等. 油菜秸秆、紫云英绿肥及其不同比例配施还田的腐解及养分释放规律研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 100-104.  
 [19] 李锋, 张春雷, 李光明. 油菜硫苷组分含量及抑菌活性研究[J]. 植物科学学报, 2006, 24(4): 351-

- 356.
- [20] 晋齐鸣, 宋淑云, 沙洪林, 等. 玉米茎腐病、丝黑穗病抗病性鉴定接种技术研究 [A]. 中国植物病理学会 2004 年学术年会论文集 [C]. 2004.
- [21] 刘震. 新型栽培模式对玉米纹枯病与大斑病流行动态影响及灾变机制研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
- [22] 于舒怡, 傅俊范, 李海春, 等. 玉米纹枯病周期性脉冲 Logistic 模型研究 [J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 141 - 144.
- [23] 李春勃, 张劲苗, 王明玖, 等. 油菜根茬肥田作用的研究 [J]. 河北农学报, 1982 (1): 21 - 27.
- [24] 蔡常被. 水田油菜用地养地初步调查研究 [J]. 湖北农业科学, 1978(8): 12 - 13.
- [25] Thorup - Kristensen K, Magid J, Jensen L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones [J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 79(2): 227 - 302.
- [26] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000(4): 476 - 480.
- [27] Ellis R J, Morgan P, Weightman A J, et al. Cultivation - dependent and - independent approaches for determining bacterial diversity in heavy - metal - contaminated soil [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(6): 223 - 230.
- [28] Kirkegaard J A. Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2006, 25(3): 235 - 265.
- [29] Mayton H S, Olivier C, Vaughn S F, et al. Correlation of fungicidal activity of Brassica species with allyl isothiocyanate production in macerated leaf tissue [J]. *Phytopathology*, 1996, 86(3): 267 - 271.
- [30] Morra M J, Kirkegaard J A. Isothiocyanate release from soil - incorporated Brassica tissues [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34(11): 1683 - 1690.
- [31] Wathelet J P, Iori R, Leoni O, et al. Guidelines for glucosinolate analysis in green tissues used for biofumigation [J]. *Agroindustria*, 2004, 3: 257 - 266.
- [32] 张小飞, 高增贵, 庄敬华, 等. 玉米丝黑穗病菌致病性分化研究 [J]. 玉米科学, 2010, 18(2): 428 - 430.

(责任编辑: 郭学兰)