

不同轮作模式下小麦禾谷孢囊线虫的发生动态和种群密度

侯生英¹, 马麟², 张贵¹, 周春花³, 侯璐¹, 彭德良^{4*}

(1. 青海大学农林科学院, 农业部西宁作物有害生物科学观测实验站, 青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 西宁 810016; 2. 青海省大通县农业技术推广中心, 西宁 810100; 3. 青海省西宁市湟中县农业资源区划办公室, 西宁 811600; 4. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 轮作是防治小麦禾谷孢囊线虫的重要农业措施,为了明确青海省春麦区不同轮作模式对小麦禾谷孢囊线虫的控制效果,采用田间大区试验法对生产中应用的6种轮作模式进行了研究。结果表明:不同轮作模式下,小麦禾谷孢囊线虫种群密度变化差异极显著,其中小麦与马铃薯、油菜、蚕豆轮作两年或以上能有效降低小麦禾谷孢囊线虫种群密度,土壤中的孢囊量减少39.31%~84.39%,单孢虫口数量减少73.21%~95.35%,虫口密度减少83.76%~97.82%;不同作物间,小麦与马铃薯或蚕豆的轮作效果(虫口密度减少74.39%~79.37%)显著优于小麦与油菜的轮作效果(虫口密度减少67.16%)。在同一地块相同条件下,种植油菜、蚕豆、马铃薯、小麦4种作物,小麦禾谷孢囊线虫均能正常孵化,4月底土壤中的2龄幼虫(J_2)量增加,5月上旬达到高峰期,5月中旬开始,土壤中的 J_2 、孢囊量、虫口密度和单孢虫口数量均急剧下降,6月至7月份下降幅度小,趋于稳定;田间空孢囊率于5月中旬至6月中旬急剧增加,7月份趋于稳定,8月份以前,4种作物田禾谷孢囊线虫的孵化动态和种群密度变化趋势一致,8月中旬,小麦田随着新孢囊脱落到土壤中,禾谷孢囊线虫种群密度开始上升,小麦收获后土壤中的孢囊量比播种前增加28.62%,虫口密度增加41.30%;而油菜、蚕豆、马铃薯田土壤中的孢囊量比播种前减少32.27%~48.36%,虫口密度减少70.91%~81.73%,8月中旬至10月份小麦田禾谷孢囊线虫种群密度极显著高于油菜、蚕豆、马铃薯田。

关键词 小麦禾谷孢囊线虫; 轮作模式; 发生动态; 种群密度

中图分类号: S 476.1 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.05.031

Occurrence dynamics and population densities of *Heterodera avenae* under different crop rotation patterns

Hou Shengying¹, Ma Lin², Zhang Gui¹, Zhou Chunhua³, Hou Lu¹, Peng Deliang⁴

(1. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pest in Xining, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management, Xining 810016, China; 2. Datong Agricultural Technology Promotion Center, Qinghai, Xining 810100, China; 3. Huangzhong Agricultural Resources and Regional Planning Office, Qinghai, Xining 811600, China; 4. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Crop rotation is an important agricultural measure to control *Heterodera avenae* (cereal cyst nematode, CCN). In order to define the effect of different rotation patterns on CCN in high-altitude regions of Qinghai Province, 6 rotation patterns were studied in field experiment with regional test method. The results showed that there was significant difference in changes of population density of CCN under different rotation patterns. Rotation of wheat with potato, rape, or broad bean by no less than two years can effectively reduce the population density of CCN. The amount of cysts in the soil decreased by 39.31%–84.39%. The eggs and second stage juveniles (J_2) in single cyst dropped by 73.21%–95.35%, and egg density in per gram soil decreased by 83.76%–97.82%. Among different crops, control effect on CCN by rotation of wheat with potato or broad bean was significant bet-

收稿日期: 2017-01-03

修订日期: 2017-02-12

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503114);青海省农林科学院创新基金(2014-NKY-03)

* 通信作者 E-mail: dlpeng@ippcaas.cn

ter than that by rotation of wheat with rape. The eggs can hatch properly in four plots planting wheat, potato, broad bean or rape in the same field. The J_2 amount in the soil increased at the end of April and peaked in early May. The amount of J_2 and cysts in the soil, the eggs and J_2 in single cyst, and the egg density in per gram soil dropped sharply since mid-May, then declined slightly and tended to be stable in June and July. The empty cysts in the plots increased dramatically in mid-May to mid-June, and tended to be stable in July. The dynamics of egg-hatching and the changing trends of population density of CCN were consistent before August. The population density of CCN in wheat plot was rising as the cysts fell off into the soil since the middle of August. The amount of cysts in 100 mL soil increased by 28.62% and the egg density in per gram soil increased by 41.13% after wheat harvest. However, the amount of cysts in 100 mL soil decreased by 32.27%—48.36%, and the egg density in per gram soil decreased by 70.56%—81.82% in rape, broad bean and potato plots after harvest. The population density of CCN in wheat plot were significantly higher than those in rape, broad bean, and potato plots from mid-August to October.

Key words *Heterodera avenae*; rotation pattern; occurrence dynamics; population density

小麦禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae* (cereal cyst nematode, 简称 CCN), 是一类发生在小麦、大麦、黑麦、燕麦、高粱等禾谷类作物和禾本科杂草上的世界性重要植物病原线虫, 目前在全世界近 40 个国家有发生分布^[1]。在我国河南、河北、山东、江苏、青海、内蒙古、甘肃、陕西、宁夏等 16 省(市、自治区), 其发生面积约 400 万 hm^2 ^[2-7]。该线虫一般引起小麦产量损失 15%~50%, 重者达 71%~92%, 如澳大利亚的维多利亚和南澳大利亚州, 由该线虫引起的小麦产量损失达 73%~89%, 沙特阿拉伯小麦因该线虫导致减产 40%~92%^[8-9]。Hajihassani 等^[10]报道, 麦类孢囊线虫 *H. latipons* 和菲利浦孢囊线虫 *H. filipjevi* 每克土壤卵和 2 龄幼虫(简称 J_2) 达 20 个时, 小麦产量损失分别为 55% 和 48%。小麦禾谷孢囊线虫在我国河南省严重发病地块导致小麦减产 50%, 甚至毁种绝收^[11]; 青海省每克土壤有卵和 J_2 10、20 和 40 个时造成小麦产量损失分别为 17.8%、38.6% 和 55.0%^[12]; 李秀花等^[13]报道, 每克土壤接种线虫密度大于 29 个卵和 J_2 时, 小麦产量损失达 50% 以上。近年来, 随着农业机械化、小麦跨区域联合收割、灌溉等因素的影响, CCN 发生危害程度逐年加重, 严重威胁我国小麦生产和粮食安全^[14]。轮作是防治土传病害最经济有效的农业措施^[15], Fisher 等^[16]报道, 小麦与豌豆轮作一年和两年后, 土壤中 CCN 种群数量分别下降 81.3% 和 98.3%; 李秀花等^[17]报道, 小麦与茄子、甜瓜或冬瓜轮作 1 年后线虫减退率分别为 93.8%、90.7% 和 90.7%, 轮作两年后线虫减退率为 98.8%; 罗书介等^[18]报道, 小麦与油菜、蚕豆、豌豆轮作, 田间孢囊基数分别减少 42%、45% 和 37%, 孢囊内的虫口数

量分别减少 64%、57% 和 84%。青海省位于青藏高原东北部, 气候冷凉, 适宜种植的作物以春小麦、春青稞(裸大麦)、春蚕豆、马铃薯、春油菜等六大作物为主, 研究青海省春麦区不同轮作模式下 CCN 线虫发生动态和种群密度的变化, 对青藏高原春麦区该病的综合治理具有重要理论指导和实践应用价值。

1 材料和方法

1.1 试验时间和地点

试验时间为 2015 年 3 月至 2016 年 10 月。试验地设在青海省大通县城关镇寺嘴村 1 号田, 北纬 $37^{\circ}02'15''\text{N}$, 东经 $101^{\circ}33'55''\text{E}$, 海拔 2 610 m, 该田为非灌溉区, 年平均气温 2.8°C , 年降雨量 508 mm 左右, CCN 发生严重, 2015 年春播前每 100 mL 土壤中 CCN 孢囊量为 37.7~117.5 个。

1.2 试验设计

试验地块总长 145 m, 宽 23 m, 100~145 m 区段 2014 年至 2016 年连续三年种植油菜; 0~100 m 区段 2014 年种植小麦; 2015 年将地块横向平分 3 个区段, 0~33 m 区段种植小麦, 33~66 m 区段种植马铃薯, 66~100 m 区段种植蚕豆, 各区段起宽 50 cm×高 30 cm 的垄相隔; 2016 年将 2015 年划分的各区段再次纵向平分 4 条, 每条宽 5.7 m, 并起垄相隔, 4 条区域分别种植马铃薯、蚕豆、小麦和油菜(表 1), 即形成 6 种不同轮作模式(表 2): 非禾本科作物连作 3 年、小麦与非禾本科作物轮作两年、与非禾本科作物轮作 1 年、与非禾本科作物轮作 1 年后继续种植小麦、小麦连作两年, 小麦连作 3 年。不同轮作区域独立耕作、播种、收获, 避免土壤中的孢囊相互传播。

表 1 试验所涉及的田间轮作模式布局

Table 1 Sketch map of different rotation patterns in the fields

年份 Year	不同区段种植作物 Crops in the field			
	0~33 m	33~66 m	66~100 m	100~145 m
2014 年	小麦	小麦	小麦	油菜
	小麦	小麦	小麦	油菜
	小麦	小麦	小麦	油菜
	小麦	小麦	小麦	油菜
2015 年	小麦	马铃薯	蚕豆	油菜
	小麦	马铃薯	蚕豆	油菜
	小麦	马铃薯	蚕豆	油菜
	小麦	马铃薯	蚕豆	油菜
2016 年	马铃薯	马铃薯	马铃薯	油菜
	蚕豆	蚕豆	蚕豆	油菜
	小麦	小麦	小麦	油菜
	油菜	油菜	油菜	油菜

表 2 轮作模式及相应的作物

Table 2 Different rotation patterns and corresponding crops

轮作模式 Rotation pattern	不同年份种植的作物 (2014 年-2015 年-2016 年) Crops in different years
非禾本科作物连作 3 年 Non-gramineous crops for 3 years	油菜-油菜-油菜
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-蚕豆-油菜
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-蚕豆-蚕豆
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-蚕豆-马铃薯
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-马铃薯-油菜
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-马铃薯-蚕豆
非禾本科作物轮作 2 年 Non-gramineous crops for 2 years	小麦-马铃薯-马铃薯
与非禾本科作物轮作 1 年后继续种植小麦 Non-gramineous crops for 1 years, and then continuous wheat	小麦-蚕豆-小麦
与非禾本科作物轮作 1 年后继续种植小麦 Non-gramineous crops for 1 years, and then continuous wheat	小麦-马铃薯-小麦
小麦连作两年,与非禾本科作物轮作 1 年 2 years wheat, and non-gramineous crops for 1 year	小麦-小麦-油菜
小麦连作两年,与非禾本科作物轮作 1 年 2 years wheat, and non-gramineous crops for 1 year	小麦-小麦-蚕豆
小麦连作两年,与非禾本科作物轮作 1 年 2 years wheat, and non-gramineous crops for 1 year	小麦-小麦-马铃薯
小麦连作 3 年 3 years wheat	小麦-小麦-小麦

1.3 调查内容及调查方法

不同轮作模式下 CCN 种群密度调查:2015 年春季至 2016 年秋季,每年春播前、收获后分别调查不同轮作区土壤中的孢囊量、单孢虫口数量及土壤中的虫口密度,调查方法:每隔 10 m 为一个区段(1 个重复),每个区段棋盘式 10 点取样,10 个点的土样混合均匀后

保留 1 kg 左右带回室内自然风干,然后采用漂浮法^[19]分离土壤中的孢囊,在体视显微镜下计数孢囊数量。

不同轮作模式下 CCN 发生动态调查:2016 年小麦播种后,每隔 10 d 左右,调查试验区 0~33 m 区段,即相同前茬作物和耕作条件下,种植不同作物(油菜、小麦、蚕豆、马铃薯)土壤中 CCN 孢囊动态、土壤中的 J₂ 及小麦根系内 J₂ 侵染及发生动态。浅盘法^[20]分离土壤中的 J₂,在体视显微镜下计数每 100 mL 土壤中的 J₂ 数量。酸性品红染色法^[21]观察小麦根系内 J₂ 的侵染和发育动态。

CCN 种群密度计算方法:

单孢虫口数量(个/孢囊)=(卵+J₂)数量/检测孢囊数量;

土壤中的虫口密度(个/g 土)=100 g 土壤中的(卵+J₂)数量/100。

1.4 数据分析

对不同轮作模式下 CCN 种群密度,包括土壤中的孢囊量、单孢虫口量、土壤中的虫口密度、空孢囊率、土壤及根系内幼虫数量等数据进行单因素方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法检测不同处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同轮作模式对 CCN 种群密度的影响

土壤中孢囊量的变化(表 3):小麦与马铃薯或蚕豆轮作一年,孢囊量减少 35.33%~44.65%;小麦与马铃薯、油菜或蚕豆轮作两年,孢囊量减少 39.31%~84.39%;小麦与非禾本科作物轮作一年后继续种植小麦,最终孢囊量减退率只有 15.9%~26.81%;油菜-油菜-油菜连作三年,土壤中孢囊量减退率为 12.55%;小麦连作三年,土壤中孢囊量增加 20.5%;连续两年种植小麦后 2016 年改种油菜、蚕豆或马铃薯,孢囊减退率分别为 36.55%、43.57%和 51.62%,不同轮作模式间孢囊减退率差异均极显著。

单孢虫口数量变化(表 4):小麦与马铃薯或蚕豆轮作一年,单孢虫口数量减少 47.09%~57.14%;小麦与马铃薯、油菜或蚕豆轮作两年,单孢虫口数量减少 73.21%~95.35%;小麦与非禾本科作物轮作一年后继续种植小麦,单孢虫口数量恢复至起始水平;油菜连作三年,单孢虫口数量减退 96.85%;小麦连作两年,单孢虫口数量增加 20.45%,连作三年,单孢虫口数量增加 32.39%;不同轮作模式间单孢虫口数量减退率差异均极显著。2014 年-2015 年种植小麦,2016 年种植油菜、蚕豆和马铃薯(0~33 m),单孢虫口数量减退率分别为 48.3%、54.55%和 57.39%,油菜田单孢虫口数量减退率显著低于蚕豆和马铃薯田。

表 3 不同轮作模式下土壤中孢囊量

Table 3 Density of cysts in 100 mL soil under different rotation patterns

轮作模式/ (2014-2015-2016) Rotation pattern	孢囊量/个·(100 mL 土) ⁻¹ Amount of cysts in 100 mL soil				
	2015 年			2016 年	两年减退率/% Decline rate in two years
	播种前 Before sowing	收获后 After harvest	一年减退率/% Decline rate in one year	收获后 After harvest	
油菜-油菜-油菜 Rape-rape-rape	37.7±5.2	26.50±5.4	29.71 c	32.97±3.3	12.55 g
小麦-蚕豆-油菜 Wheat-broad bean-rape	117.5±10.8	65.04±7.8	44.65 a	61±4.1	48.09 c
小麦-蚕豆-蚕豆 Wheat-broad bean-broad bean	117.5±10.8	65.04±7.8	44.65 a	55.5±6.9	52.77 c
小麦-蚕豆-马铃薯 Wheat-broad bean-potato	117.5±10.8	65.04±7.8	44.65 a	47.25±5.9	59.79 b
小麦-马铃薯-油菜 Wheat-potato-rape	86.5±6.9	55.94±3.3	35.33 b	52.5±2.9	39.31 e
小麦-马铃薯-蚕豆 Wheat-potato-broad bean	86.5±6.9	55.94±3.3	35.33 b	49±4.9	43.35 d
小麦-马铃薯-马铃薯 Wheat-potato-potato	86.5±6.9	55.94±3.3	35.33 b	13.5±3.3	84.39 a
小麦-蚕豆-小麦 Wheat-broad bean-wheat	117.5±10.8	65.04±7.8	44.65 a	86±9.3	26.81 f
小麦-马铃薯-小麦 Wheat-potato-wheat	86.5±6.9	55.94±3.3	35.33 b	72.75±7.0	15.90 g
小麦-小麦-油菜 Wheat-wheat-rape	58.14±8.5	54.47±5.9	6.31 d	36.89±5.9	36.55 e
小麦-小麦-蚕豆 Wheat-wheat-broad bean	58.14±8.5	54.47±5.9	6.31 d	32.81±4.3	43.57 d
小麦-小麦-马铃薯 Wheat-wheat-potato	58.14±8.5	54.47±5.9	6.31 d	28.13±3.6	51.62 c
小麦-小麦-小麦 Wheat-wheat-wheat	58.14±8.5	54.47±5.9	6.31 d	70.06±4.1	-20.5 h

表 4 不同轮作模式下单孢虫口数量

Table 4 The number of eggs and J₂ in single cyst under different rotation patterns

轮作模式/ (2014-2015-2016) Rotation pattern	单孢虫口数量(卵+J ₂)/个·孢囊 ⁻¹ The number of egg and J ₂ in single cyst				
	2015 年			2016 年	两年减退率/% Decline rate in one year
	播种前 Before sowing	收获后 After harvest	一年减退率/% Decline rate in one year	收获后 After harvest	
油菜-油菜-油菜 Rape-rape-rape	12.7±2.0	10.6±3.7	16.54 c	0.4±0.2	96.85 a
小麦-蚕豆-油菜 Wheat-broad bean-rape	17.2±3.3	9.1±2.3	47.09 b	4.3±2.1	75.00 e
小麦-蚕豆-蚕豆 Wheat-broad bean-broad bean	17.2±3.3	9.1±2.3	47.09 b	0.8±0.3	95.35 a
小麦-蚕豆-马铃薯 Wheat-broad bean-potato	17.2±3.3	9.1±2.3	47.09 b	2.1±0.5	87.79 c
小麦-马铃薯-油菜 Wheat-potato-rape	16.8±5.2	7.2±1.6	57.14 a	4.5±0.9	73.21 e
小麦-马铃薯-蚕豆 Wheat-potato-broad bean	16.8±5.2	7.2±1.6	57.14 a	1.6±1.2	90.48 b
小麦-马铃薯-马铃薯 Wheat-potato-potato	16.8±5.2	7.2±1.6	57.14 a	2.9±0.8	82.74 d
小麦-蚕豆-小麦 Wheat-broad bean-wheat	17.2±3.3	9.1±2.3	47.09 a	17.6±3.3	-2.33 g
小麦-马铃薯-小麦 Wheat-potato-wheat	16.8±5.2	7.2±1.6	57.14 b	17.3±4.0	-2.98 g
小麦-小麦-油菜 Wheat-wheat-rape	17.6±3.4	21.2±4.1	-20.45 d	9.1±1.6	48.30 f
小麦-小麦-蚕豆 Wheat-wheat-broad bean	17.6±3.4	21.2±4.1	-20.45 d	8±1.6	54.55 e
小麦-小麦-马铃薯 Wheat-wheat-potato	17.6±3.4	21.2±4.1	-20.45 d	7.5±1.2	57.39 e
小麦-小麦-小麦 Wheat-wheat-wheat	17.6±3.4	21.2±4.1	-20.45 d	23.3±2.9	-32.39 h

土壤中的虫口密度变化(表 5):小麦与马铃薯或蚕豆轮作一年,土壤中的 CCN 虫口密度下降 70.71%~72.26%;小麦与马铃薯、油菜或蚕豆轮作两年,土壤中的虫口密度下降 83.76%~97.82%;小麦与非禾本科作物轮作一年后继续种植小麦,最终虫口密度减退 13.35%~25.09%;油菜-油菜-油菜连作三年,土壤中的虫口密度下降 97.29%;小麦连作

两年,土壤中的虫口密度增加 12.90%,连作三年,土壤中的虫口密度增加 59.53%;不同轮作模式间土壤中的虫口密度减退率差异均极显著。2014 年,2015 年连续种植两年小麦,2016 年种植油菜、蚕豆和马铃薯(0~33 m),土壤中的虫口密度分别下降为 67.16%、74.39%和 79.37%,油菜田虫口密度下降率显著低于蚕豆和马铃薯田。

表 5 不同轮作模式下土壤中的虫口密度

Table 5 Densities of eggs and J₂ in per gram soil under different rotation patterns

轮作模式/ (2014-2015-2016) Rotation pattern	土壤中的虫口密度(卵+J ₂)/个·g ⁻¹ Densities of eggs and J ₂ in per gram soil				
	2015 年			2016 年	两年减退率/% Reducing rate in two year
	播种前 Before sowing	收获后 After harvest	一年减退率/% Reducing rate in one year	收获后 After harvest	
油菜-油菜-油菜 Rape-rape-rape	4.79±2.5	2.81±1.2	41.34 b	0.13±0.1	97.29 a
小麦-蚕豆-油菜 Wheat-broad bean-rape	20.21±3.7	5.92±0.8	70.71 a	2.62±0.9	87.04 b
小麦-蚕豆-蚕豆 Wheat-broad bean-broad bean	20.21±3.7	5.92±0.8	70.71 a	0.44±0.2	97.82 a
小麦-蚕豆-马铃薯 Wheat-broad bean-potato	20.21±3.7	5.92±0.8	70.71 a	0.99±0.3	95.10 a
小麦-马铃薯-油菜 Wheat-potato-rape	14.53±4.3	4.03±1.4	72.26 a	2.36±0.5	83.76 bc
小麦-马铃薯-蚕豆 Wheat-potato-broad bean	14.53±4.3	4.03±1.4	72.26 a	0.78±0.5	94.63 a
小麦-马铃薯-马铃薯 Wheat-potato-potato	14.53±4.3	4.03±1.4	72.26 a	0.39±0.1	97.32 a
小麦-蚕豆-小麦 Wheat-broad bean-wheat	20.21±3.7	5.92±0.8	70.71 a	15.14±2.1	25.09 f
小麦-马铃薯-小麦 Wheat-potato-wheat	14.53±4.3	4.03±1.4	72.26 a	12.59±2.5	13.35 g
小麦-小麦-油菜 Wheat-wheat-rape	10.23±3.1	11.55±2.6	-12.90 c	3.36±0.9	67.16 e
小麦-小麦-蚕豆 Wheat-wheat-broad bean	10.23±3.1	11.55±2.6	-12.90 c	2.62±0.5	74.39 e
小麦-小麦-马铃薯 Wheat-wheat-potato	10.23±3.1	11.55±2.6	-12.90 c	2.11±0.8	79.37 cd
小麦-小麦-小麦 Wheat-wheat-wheat	10.23±3.1	11.55±2.6	-12.90 c	16.32±2.9	-59.53 h

综上所述,不同轮作模式间,CCN 种群密度变化差异均极显著:①小麦与蚕豆或马铃薯轮作一年,土壤中的孢囊量减少 35.33%~44.65%,单孢虫口数量减少 47.09%~57.14%,土壤中的虫口密度减少 70.71%~72.26%;②小麦与油菜、蚕豆或马铃薯轮作两年,土壤中孢囊量减少 39.31%~84.39%,单孢虫口数量下降 73.21%~95.35%,土壤中的虫口密度减少 83.76%~97.82%;③油菜连作三年,土壤中的孢囊量减少 12.55%,单孢虫口数量减少 96.85%;土壤中的虫口密度减少 97.29%;④小麦与非禾本

科作物轮作一年后继续种植小麦,最终孢囊量减少 21.36%,土壤中的虫口密度减少 19.22%;⑤小麦连作两年,单孢虫口数量增加 20.5%,土壤中的虫口密度增加 12.9%;⑥小麦连作三年,土壤中的孢囊量增加 20.5%,单孢虫口数量增加 32.39%,土壤中的虫口密度增加 59.53%。不同作物间,小麦与马铃薯或蚕豆轮作的效果显著优于小麦与油菜轮作的效果,土壤中的孢囊量减退率分别为 51.62%、43.57%、36.55%,单孢虫口数量减退率分别为 57.39%、54.55%、48.3%,土壤中的虫口密度减退率分别为

79.37%、74.39%、67.16%。

2.2 不同轮作模式下 CCN 发生动态

0~33 m 区段 2014 年—2015 年种植小麦,2016 年纵向均分为 4 个区域,分别种植马铃薯、蚕豆、小麦、油菜,4 种作物田 CCN 消长动态如下:

土壤中的孢囊量消长动态(图 1):试验区播种前起始孢囊量 54.47 个/100 mL 土;4 月 6 日播种后,4 种作物田孢囊量均于 4 月底开始下降,4 月底孢囊减退率 16.1%~26.74%;5 月初孢囊减退率 23.44%~32.25%;5 月中旬至 7 月中旬孢囊减退率 35.38%~48.04%;8 月中旬小麦田孢囊量开始上升,9 月份小麦收获前达 53.5 个/100mL 土,10 份小麦收获后达 70.06 个/100 mL 土,最终孢囊量比播种前增加 28.62%;而油菜、蚕豆和马铃薯田的最终孢囊量分别下降至 36.89、32.81 和 28.13 个/100 mL 土,孢囊减退率 32.27%~48.36%。6 月份以前,4 种作物田孢囊量及其下降率均无显著差异,6 月至小麦收获期,4 种作物田的孢囊量差异显著;8 月中旬至小麦收获期,小麦田的孢囊量极显著高于油菜、蚕豆和马铃薯田。

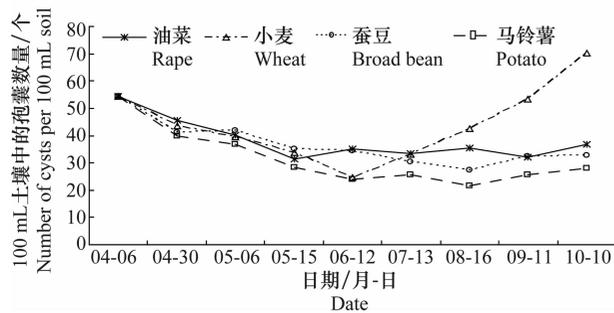


图 1 不同轮作模式下土壤中的孢囊数量消长动态

Fig. 1 Occurrence dynamic of cysts in the soil under different rotation patterns

土壤中空孢囊率消长动态(图 2):4 月 6 日播种至 5 月上旬,4 种作物田土壤中的空孢囊率均保持在起始水平 49.76%~54.7%;5 月中旬田间空孢囊率开始增加,达 57.5%~61.4%;6 月中旬空孢囊率达 78.5%~85.4%;7 月中旬空孢囊率达 85.4%~90.7%;8 月中旬以后,小麦田的空孢囊率开始减少,9 月份小麦收获前减少至 52.8%,10 月份小麦收获后减少至 46.52%,而油菜、马铃薯、蚕豆田收获后空孢囊率高达 87.8%~91.4%。8 月份以前 4 种作物田空孢囊率差异均不显著,8 月中旬至小麦收获期,小麦田的空孢囊率极显著低于油菜、马铃薯和蚕豆田($P < 0.01$)。

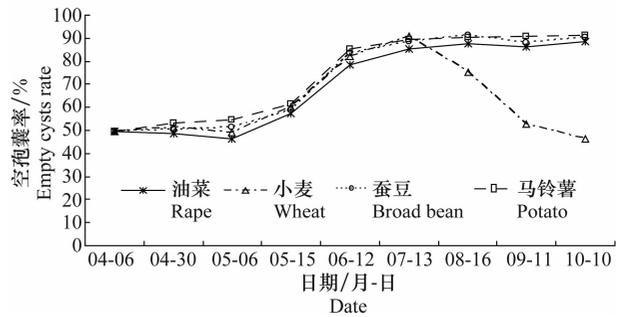


图 2 不同轮作模式下土壤中的空孢囊率消长动态

Fig. 2 Occurrence dynamic of empty rate of cysts in the soil under different rotation patterns

单孢虫口数量消长动态(图 3):播种前试验区单孢虫口量为 21.2 个,4 月 6 日播种后,4 种作物田均于 4 月底单孢虫口数量开始下降,4 月底为 14.3~17.5 个/孢囊,5 月上旬为 9.89~13.2 个/孢囊,5 月中旬至 7 月份为 6.53~9.3 个/孢囊;8 月中旬,小麦田的单孢虫口数量开始上升,9 月份小麦收获前达 18 个/孢囊,10 月份小麦收获后达 23.3 个/孢囊,而油菜、马铃薯、蚕豆田单孢虫口数量 7.5~9.1 个;8 月份以前,4 种作物田单孢虫口数量及其下降率差异均不显著,8 月中旬至小麦收获期小麦田的单孢虫口数量显著高于油菜、马铃薯、蚕豆田($P < 0.01$)。

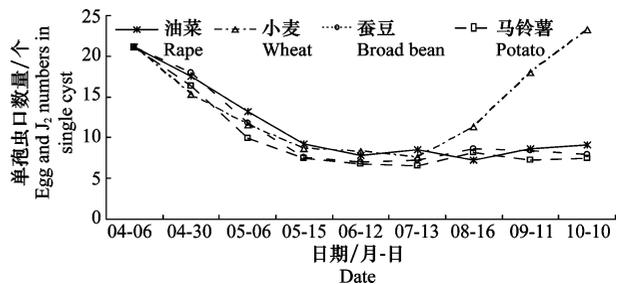


图 3 不同轮作模式下单孢虫口数量消长动态

Fig. 3 Occurrence dynamic of eggs and J_2 in single cyst under different rotation patterns

土壤中的虫口密度消长动态(图 4):播种前土壤中的虫口密度 11.55 个/g 土,播种后 4 种作物田土壤中的虫口密度均于 4 月底开始下降,4 月底为 5.7~7.3 个/g 土,5 月上旬为 3.65~5.32 个/g 土,5 月中旬至 7 月份为 1.3~3.9 个/g 土,8 月份以前,油菜田土壤中的虫口密度显著高于其他 3 种作物田;8 月中旬,小麦田土壤中的虫口密度开始上升,9 月份小麦收获前 9.6 个/g 土,10 月份小麦收获后达 16.32 个/g 土,而油菜、马铃薯、蚕豆田只有 2.11~3.36 个/g 土。8 月中旬至小麦收获期小麦

田土壤中的虫口密度极显著高于油菜、马铃薯和蚕豆田,油菜田的虫口密度显著高于马铃薯田和蚕豆田($P < 0.01$)。

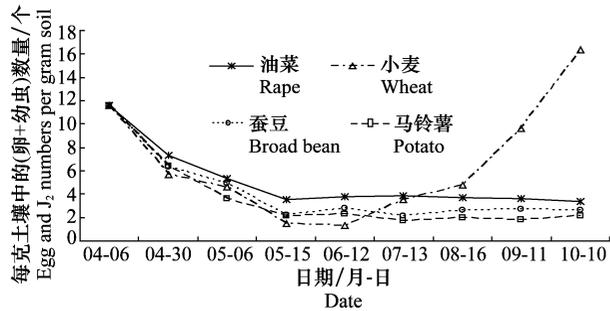


图4 不同轮作模式下土壤中的虫口密度消长动态

Fig. 4 Occurrence dynamic of eggs and J₂ in the soil under different rotation patterns

土壤中 J₂ 的消长动态(图 5):4 种作物田土壤中的 J₂ 均于 4 月底开始增加,每 100 mL 土壤中 J₂ 量 49.83~70.8 条,5 月上旬达到高峰期,每 100 mL 土壤中 J₂ 量 133.72~315.88 条/100 mL 土,5 月中旬 109.8~177.8 条/100 mL 土,5 月下旬 38.59~76.83 条/100 mL 土,6 月中旬 13.28~18.59 条/100 mL 土,7 月中旬至 8 月中旬 2.2~8.76 条/100 mL 土;4 月底至 5 月份,小麦田土壤中的 J₂ 因部分侵入小麦根系而极显著低于油菜、马铃薯和蚕豆田,6 月中旬以后 4 种作物田土壤的 J₂ 量差异不显著。

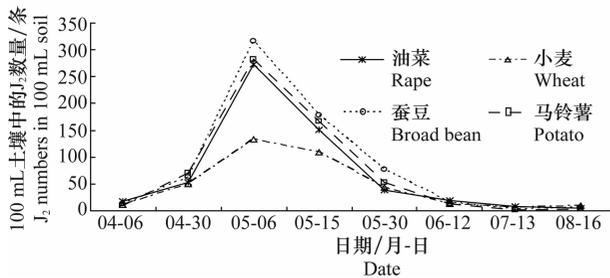


图5 不同轮作模式下土壤中的 2 龄幼虫数量消长动态

Fig. 5 Occurrence dynamic of J₂ in soil under different rotation patterns

小麦田单株根系内 J₂ 侵染及发育动态(图 6):4 月底 J₂ 开始侵入小麦根系,单株根系内 J₂ 数量 73.33 条,5 月上旬达 318.22 条/株,为 J₂ 侵染高峰期;5 月中旬根系内出现 3 龄幼虫(J₃),单株根系内 J₃ 数量 63.48 条,5 月底至 6 月中旬为 J₃ 高峰期,单株根系内 J₃ 数量 196.3~218.5 条;6 月中旬至 6 月下旬为 4 龄幼虫(J₄)高峰期,单株根系内 J₄ 数量 45~53 条;6 月底根系见白雌虫,单株根系白雌虫 7 个,7 月

月上旬为白雌虫高峰期,单株根系白雌虫 34.5 个,侵入根系的 J₂ 发育并形成雌虫的比例 10.84%。

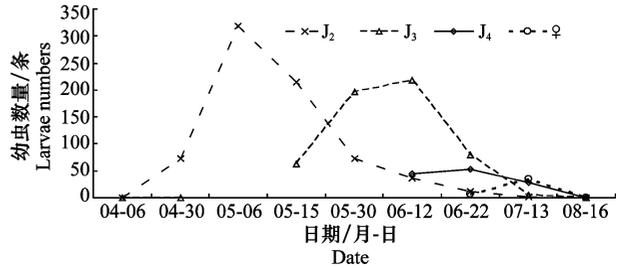


图6 小麦田单株根系内 J₂ 侵染和发育动态

Fig. 6 The infestation and growing dynamic of J₂ in single root system in the wheat field

综上所述:在同一地块相同条件下,种植马铃薯、油菜、蚕豆、小麦 4 种作物,土壤孢囊中的卵均能正常孵化,4 月底土壤中的 J₂ 开始增加,5 月上旬为 J₂ 高峰期,5 月中旬开始下降,6 月份以后土壤只有少量 J₂;土壤中的孢囊量、单孢虫口数量、每克土壤中的卵量均于 4 月底随着卵的孵化而下降,5 月上旬至 5 月中旬下降幅度较大,6 月份以后下降幅度小趋于稳定;田间空孢囊率 5 月中旬至 6 月中旬急剧增加,7 月份趋于稳定;8 月份以前,4 种作物田禾谷孢囊线虫的孵化动态和种群密度变化趋势一致;8 月中旬,随着新孢囊脱落到土壤中,小麦田种群密度开始上升,小麦收获后土壤中的孢囊量增加 28.62%,虫口密度增加 41.13%;而油菜、蚕豆、马铃薯田,土壤中的孢囊量减少 32.27%~48.36%,虫口密度下降 70.56%~81.82%,8 月中旬至小麦收获期小麦田 CCN 种群密度极显著高于油菜、蚕豆、马铃薯田。

3 讨论

本研究结果表明,小麦与马铃薯、蚕豆、油菜 3 种作物轮作,不同轮作模式下 CCN 种群密度变化差异极显著,其中小麦与马铃薯、油菜或蚕豆轮作两年或以上,对 CCN 种群密度的控制效果显著优于轮作一年的效果:轮作一年,土壤中的孢囊量减退率 35.33%~44.65%,单孢虫口数量减退率 47.09%~57.14%,土壤中的虫口密度减退率 70.71%~72.26%;轮作两年,土壤中孢囊量减退率 39.31%~84.39%,单孢虫口量下降 73.21%~95.35%,土壤中的虫口密度减少 83.76%~97.82%;油菜连作三年,单孢虫口数量减少 96.85%;土壤中的虫口密度减少 97.29%;小麦与蚕豆或马铃薯轮作一年后

继续种植小麦,最终 CCN 种群密度会很快恢复接近初始密度。Fisher 等^[15]的研究结果表明,小麦与豌豆轮作一年、两年后,土壤中虫口密度分别下降 81.3% 和 98.3%;小麦与豌豆轮作一年,单孢虫口数量减退 71.9%,小麦与禾谷类作物轮作一年单孢虫口量减退 79.4%~92.2%。李秀花等^[17]的研究结果显示,小麦与茄子、甜瓜和冬瓜轮作 1 年后线虫减退率分别为 93.8%、90.7%和 90.7%,轮作两年后线虫减退率为 98.8%;王燕等^[22]的研究结果表明,采用油菜、谷子轮作两年后再种小麦,或胡萝卜、绿豆轮作三年后再种小麦,小麦根部基本无孢囊。本次研究结果在轮作效果上与 Fisher^[16]和王燕^[22]的研究结果接近,但低于李秀花等^[17]的研究结果。这与轮作的作物种类以及当地的土壤和气候条件有关,本次研究试验区地处青海省低位山区,该地区无灌溉水,小麦播种到收获期均靠自然降水,而 CCN 孵化主要受温度和湿度的影响^[23-26],春季气候凉爽、土壤潮湿、降雨多有利于线虫孵化,而干旱少雨会影响 CCN 孵化,没有孵化的部分孢囊在土壤中可以存活多年,因此,在青海省浅、脑山区和旱作麦区,需轮作两年或两年以上,才能有效降低 CCN 的种群密度,轮作模式以“小麦—马铃薯/蚕豆/油菜—油菜/马铃薯/蚕豆”为宜。

本次研究结果表明,不同作物间轮作效果也有差异。小麦与马铃薯或蚕豆轮作的效果(土壤中的虫口密度减退率分别为 79.37%、74.39%)显著优于小麦与油菜轮作的效果(虫口密度减退率 67.16%)。罗书介等^[18]报道,小麦与蚕豆的轮作效果显著优于小麦与油菜和豌豆的轮作效果。本次研究结果与罗书介等^[18]的研究结果一致。本次研究中油菜田中期根系检测发现个别白雌虫,说明有少量 CCN 侵染油菜根系并在根系内发育成熟,这可能是油菜轮作效果低于马铃薯和蚕豆的原因,其对油菜的侵染率和在油菜田的发育动态有待进一步研究;其次,本次研究中马铃薯田进行了覆膜,覆膜有助于干旱冷凉山区土壤保温保湿,从而促进了 CCN 的孵化,这可能是马铃薯轮作效果较好的原因之一;蚕豆有产生根瘤固氮和增加土壤肥力的作用,其与 CCN 孵化的关系有待进一步研究。

本次研究和 Fisher 等^[16]、李秀花等^[17]、王燕等^[22]的研究均表明,轮作对 CCN 种群密度的控制

效果优于目前市场上应用的大多数杀线剂(防效不理想且毒性大)^[27-29],而且轮作可以降低多种土传病虫害的起始密度^[15],一举多得、经济环保、简便易行,在我国目前缺乏抗病品种的前提下,轮作是最经济有效的农业措施。

参考文献

- [1] Nicol J M, Rivoal R, Taylor S, et al. Global importance of cyst (*Heterodera* spp.) and lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) on cereals a review of yield loss studies populations dynamics and progress of use of host resistance for nematode control using traditional methods with the application of molecular tools [J]. *Nematology Monographs & Perspectives*, 2003(2):1-19.
- [2] 陈品三,王祖明,彭德良. 我国小麦禾谷孢囊线虫(*Heterodera avenae* Wollenweber)鉴定研究[J]. *植物病理学报*, 1992, 22(4): 339-342.
- [3] 王明祖,雷智峰,肖炎农. 小麦禾谷孢囊线虫寄生范围的研究[J]. *植物保护*, 1996, 22(1): 3-5.
- [4] 齐淑华,彭德良,张东升,等. 禾谷孢囊线虫在我国的新寄主及新分布区初报[J]. *植物保护*, 1992, 20(4): 52-53.
- [5] 彭德良,李惠霞,王锡峰,等. 我国小麦禾谷孢囊线虫的新发生分布地区[M]//廖金铃,彭德良,段玉玺. *中国线虫学研究:第二卷*,北京:中国农业科学技术出版社,2008: 344-345.
- [6] 侯生英,彭德良,王爱玲,等. 青海省小麦孢囊线虫病调查初报[J]. *青海大学学报*, 2008, 26(5): 84-86.
- [7] 黄文坤,叶文兴,王高峰,等. 宁夏地区禾谷孢囊线虫的发生与分布[J]. *华中农业大学学报*, 2011, 30(1): 74-77.
- [8] Nicol J, Rivoal R, Taylor S, et al. Global importance of cyst (*Heterodera* spp.) and lesion nematodes *Pratylenchus* spp. on cereals: distribution, yield loss, use of host resistance and integration of molecular tools [J]. *Nematology Monographs & Perspectives*, 2004, 2:233-251.
- [9] Meagher J W. Word dissemination of the cereal-cyst nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat [J]. *Journal of Nematology*, 1977, 9(1):9-15.
- [10] Hajjhasani A, Maafi T Z, Nicol J M, et al. Effect of the cereal cyst nematode, *Heterodera filipjevi*, on wheat in microplot trials [J]. *Nematology*, 2010, 12(3):357-363.
- [11] 王振跃,李洪连,袁虹霞. 小麦孢囊线虫病的发生危害与防治对策[J]. *河南农业科学*, 2005(12): 54-55.
- [12] 侯生英,王爱玲,张贵. 小麦禾谷孢囊线虫病危害损失研究[J]. *农学学报*, 2012, 2(8): 33-36.
- [13] 李秀花,高波,王容燕,等. 河北省禾谷孢囊线虫种群密度和冬小麦产量损失的关系[J]. *植物保护学报*, 2015, 42(1):124-129.
- [14] 彭德良,黄文坤,顾晓川,等. 小麦孢囊线虫病严重威胁我国小麦生产和粮食安全[C]//彭友良,朱有勇. *中国植物病理学会 2009 年学术年会会议论文集*. 北京:中国农业科学技术出版

社, 2009: 405.

- [15] 徐培河. 农田有害生物的防除[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1989: 48-86
- [16] Fisher J M, Hancock T W. Population dynamics of *Heterodera avenae* Woll. in south Australia [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1991, 42(1): 53-68
- [17] 李秀花, 高波, 马娟, 等. 休闲与轮作对燕麦孢囊线虫种群动态的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5): 1048-1053.
- [18] 罗书介, 王高峰, 消炎龙, 等. 轮作对禾谷孢囊线虫田间种群数量的影响[C]//中国植物病理学会 2015 年学术年会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2015: 425.
- [19] 张绍升. 植物线虫病诊断与治理[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1999: 77-79.
- [20] 李笃肇. 植物线虫的识别与分离[J]. 植物医生, 1999, 12(2): 44.
- [21] 段玉玺. 植物线虫学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [22] 王燕, 马明安, 徐伟玲. 小麦孢囊线虫病发病因素分析及综合防治

治对策[J]. 中国植保导刊, 2008(4): 15-16.

- [23] Banyer R J, Fisher J M. Seasonal variation in hatching of eggs of *Heterodera avenae* [J]. Nematologica, 1971, 17: 225-236.
- [24] Banyer R J, Fisher J M. Effect of temperature on hatch of eggs of *Heterodera avenae* [J]. Nematologica, 1971, 17: 519-534.
- [25] Banyer R J, Fisher J M. Motility in relation to hatching of eggs of *Heterodera avenae* [J]. Nematologica, 1972, 18: 18-24.
- [26] 李秀花, 马娟, 陈书龙. 不同温度对燕麦孢囊线虫田间群体孵化的影响[J]. 植物保护学报, 2012, 39(3): 260-264.
- [27] 裴世安, 王暄, 耿立新, 等. 不同杀线剂对小麦孢囊线虫病的防治效果[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 166-170.
- [28] 刘静, 吴海燕, 彭德良. 小麦孢囊线虫的发生. 防治及控制策略思考[J]. 安徽农业科技, 2010, 38(3): 1629-1632.
- [29] 吴绪金, 杨卫星, 孙炳剑, 等. 不同药剂处理对小麦禾谷孢囊线虫的防治效果及增产效果[J]. 河南农业科学, 2007(5): 57-60.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 156 页)

GB 2763—2016 同时发布, 这 106 项检测方法的标准号统一为 GB 23200 系列标准。检测方法标准的发布, 将有效减少我国限量标准中由于缺少检测方法标准而造成的临时限量, 逐步实现产品有标可检的目标。

食品安全国家标准是各国政府管理食品安全的依据, 在标准制定过程中, 既要充分考虑食用农产品风险评估结果及相关的国际标准, 也要充分考虑国情, 注重标准的可操作性, 我国的食品安全国家标准就是依据我国农药管理及食品安全管理的实际情况而制定的。对于政府来说, 食品安全是前提, 确保人民健康是最终目的。实现从食品农产品生产经营到餐桌的全程严格检测、控制和监管, 是保障食品安全与质量的社会需求, 更是广大民众的期望。

参考文献

- [1] 食品安全法[Z]. 北京: 中国法制出版社, 2015.

- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 2763—2014 食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [3] 朱光艳, 简秋, 郑尊涛. 我国食品中农药最大残留限量标准制定进展[J]. 农药科学与管理, 2013, 35(4): 8-11.
- [4] Index of New ISO common names [EB/OL]. (2017)[2017-01-12]. http://www.alanwood.net/pesticides/index_new_frame.html.
- [5] FAO. List of pesticides evaluated by JMPR and JMPS [EB/OL]. (2015)[2015-08-26]. <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/pests/lpe/en/>.
- [6] USEPA. Electronic code of federal regulations [EB/OL]. (2015)[2015-08-26]. http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&sid=1a0ecaf51aa3dba662c9cbf1b4336eaf&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr180_main_02.tpl.
- [7] EU. EU-Pesticides database [EB/OL]. (2015-07-28)[2015-08-26]. <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>.

(责任编辑: 杨明丽)