

河北省冬小麦田杂草群落特征

李秉华¹ 王贵启¹ 魏守辉² 樊翠芹¹ 黄红娟² 张朝贤^{2*}

(1. 河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050035; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要: 为了明确河北省冬小麦田杂草的群落组成和结构, 采用倒置“W”取样法对河北省7个地区146块冬小麦田的杂草进行了调查和物种多样性测度。结果显示, 河北省冬小麦田有61种杂草, 隶属于21科53属, 播娘蒿、打碗花、荠菜、麦瓶草和麦家公是河北省冬小麦田的优势杂草。保定地区麦田杂草群落的物种丰富度最大; 沧州地区麦田杂草群落的Shannon-Wiener指数和Pielou指数最大; 廊坊地区麦田杂草群落的Gleason指数、Shannon-Wiener指数和Pielou指数最小, 优势草种比较突出。经聚类分析和主成分分析, 河北省冬小麦田杂草群落分为3组: 石家庄、保定、邢台和廊坊的麦田杂草群落中耐旱杂草的相对多度较高; 沧州和衡水的麦田杂草群落中耐盐杂草的相对多度较高; 邯郸的麦田杂草群落中喜湿杂草的相对多度较高。说明土壤的盐度和湿度是影响河北省冬小麦田杂草群落组成的主要生态因子。

关键词: 冬小麦田; 杂草群落; 群落多样性; 系统聚类分析; 主成分分析

Characterization of weed community in winter wheat in Hebei Province

Li Binghua¹ Wang Guiqi¹ Wei Shouhui² Fan Cuiqin¹ Huang Hongjuan² Zhang Chaoxian^{2*}

(1. Institute of Food and Oil, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035, Hebei Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to understand the weed composition and characterization in winter wheat in Hebei Province, the weeds of 146 winter wheat fields was investigated using the method of inverted W-pattern with 9 sampling points. The results showed that 61 weed species belonged to 53 genera of 21 families, with *Descurainia sophia* (L.) Schur, *Calystegia hederacea* Wall. Ex Roxb, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic, *Silene conoidea* L. and *Lithospermum arvense* L. as dominate species in Hebei Province. Weeds in Baoding wheat fields possessed highest species richness and Gleason index, while highest Shannon-Wiener index and Pielou index appeared in Cangzhou wheat fields. Weeds in Langfang wheat fields had lowest species richness, Shannon-Wiener index and Pielou index, but highest Simpson index. Q cluster analysis and principal component analysis (PCA) revealed that weeds in Hebei Province were in 3 groups: abundant drought tolerant weed species in Shijiazhuang, Baoding, Xingtai and Langfang, Cangzhou and Hengshui with more saline tolerant or hygrophilous species, and Handan with more hygrophilous species. These results indicated that salinity and moisture of soil were the main ecological factors to affect the characterization of weed communities in winter wheat fields in Hebei Province.

Key words: winter wheat; weed community; community diversity; hierarchical cluster analysis; principal component analysis

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD19B02); 河北省科技支撑项目(12220301D)

作者简介: 李秉华, 男, 1972年生, 副研究员, 研究方向为农田杂草综合治理, E-mail: binghua-li@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: cxzhang@wssc.org.cn, Tel: 010-62815937

收稿日期: 2012-07-25

小麦是重要的粮食作物,河北省的小麦种植面积在全国排名第三^[1]。河北省中部和南部平原是冬小麦主产区,土壤肥沃、灌溉便利,但田间杂草生长旺盛、草相复杂,草害发生占小麦播种面积的80%以上,造成小麦产量损失达15%左右。

姜德锋等^[2]研究表明,长期使用靶标相同的除草剂可以降低敏感杂草的密度而导致非敏感杂草密度上升,杂草群落发生快速演替,并可能形成抗药性杂草种群^[3];随着转基因作物越来越多,由于基因漂移使杂草产生新抗药性的风险也不断增加^[4]。同时,耕作方式的改变^[5]、外来物种入侵^[6]等原因均可能导致杂草群落的结构发生变化。在优势杂草发生变化时或变化之前,需要对防除策略作出相应调整,因此掌握农田杂草群落的结构和演替趋势就成为决策前的基础工作之一。国内已相继对棉花^[7]、小麦^[8-9]、玉米^[10]、油菜^[11]及水稻^[12]等作物田的杂草群落进行了调查,明确了农田杂草的群落结构,为相应作物田的草害治理奠定了基础。

本研究对河北省冬小麦田杂草群落进行了调查和数量分析,旨在揭示该地区麦田杂草群落特征,以及影响杂草群落结构的生态因子。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

调查区域为邯郸、邢台、石家庄、保定、廊坊、沧州和衡水7个地区,位于河北省的中部和南部,北纬36.14°~39.98°、东经114.31°~117.36°之间,地貌为平原,地势由西向东倾斜,大部分地区海拔50 m以下,土壤类型以潮土为主,部分土壤为褐土或滨海土^[13]。气候属于典型的温带半湿润半干旱大陆性季风气候,小麦生长期干旱少雨,月平均气温3~26℃,大部分地区农田灌溉条件好,可以保障小麦需要的土壤墒情。小麦种植区划属于北部冬麦区,种植制度为一年两熟制。

1.2 调查方法

分别于2007和2008年的5月对上述7个地区146块麦田进行调查,每块麦田样方面积约为1 hm²,每样方采用经改进的倒置“W”九点取样法^[8, 14]取9个样点,每样点1 m²,共计1314个样点,调查时记录杂草的种类和株数。植物种类的鉴定参考李扬汉^[15],植物拉丁名参考文献^[16]。

1.3 数据分析

采用Excel 2010进行数据的整理、计算和绘图,

计算河北省不同地区麦田杂草的田间密度(density, D)、频度(frequency, F)、均度(uniformity, U)、相对密度(RD)、相对频度(RF)、相对均度(RU)、相对多度(relative abundant, RA)^[8]和其它群落多样性测度指标。 $RA = (RD + RF + RU)/3$ 。

物种丰富度是群落中物种的数目,为了减少调查面积对物种丰富度测度的影响,引入了 Gleason 指数,计算公式为: $d_{GL} = S/\ln A$,式中 d 是物种数目随样方增大而增大的速率, S 为物种的数目, A 为所调查的面积^[17]。Shannon-Wiener 多样性指数(H')计算公式为: $H' = - \sum P_i \cdot \ln P_i$,Simpson 优势度指数(D)计算公式为: $D = \sum P_i^2$,式中 P_i 是第 i 物种被第 1 次抽到的概率, $P_i = N_i/N$, N_i 为样方中第 i 种杂草的密度, N 为该样方中所有杂草密度的和;Pielou 均匀度指数(J)计算公式为: $J = H' / \ln S$ ^[18], S 是调查区域内的物种数。

将各地区 $RA \geq 1$ 的杂草的 RA 与所分布地区构成矩阵,采用 SPSS 12.0 对数据进行系统聚类分析和主成分分析(principal component analysis, PCA),并对 PCA 结果在生态学意义上进行解释。地区之间杂草群落的相似性测度采用系统聚类分析并生成树状图,聚类方法采用组间均连法,数据转换采用 Z 分数标准化,距离测度采用 Euclidean 距离平方。

2 结果与分析

2.1 麦田杂草区系和种类

河北省冬小麦田杂草共 61 种,隶属于 21 科 53 属,其中蕨类植物 1 科 1 属 1 种,单子叶植物有 2 科 10 属 11 种,双子叶植物有 18 科 42 属 49 种。包含杂草种类最多的科是菊科 14 种,其次是禾本科 9 种、十字花科 6 种、蓼科 4 种;包含杂草种类最多的属是蒿属 4 种,苦苣菜属 3 种,蓼属 3 种和莎草属 2 种。

根据麦田杂草的相对多度、田间频度和实际危害,将田间杂草划分为优势杂草、区域性优势杂草、常见杂草和一般杂草 4 种类型^[19](表 1)。

播娘蒿 *Descurainia sophia* (L.) Schur、打碗花 *Calystegia hederacea* Wall. ex Roxb、荠菜 *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic、麦瓶草 *Silene conoidea* L.、麦家公 *Lithospermum arvense* L. 在麦田的相对多度、发生频度较高,对小麦产量有严重影响,因此属于麦田优势杂草。

篇蓄 *Polygonum aviculare* L.、雀麦 *Bromus japonicus* Thunb.、小薊 *Cirsium segetum* (Wild.) MB.、

表 1 河北省冬小麦田杂草相对多度

Table 1 Relative abundance of weeds in winter wheat fields in Hebei

序号 No.	杂草种类 Weed species	邯郸 Handan	邢台 Xingtai	石家庄 Shijiazhuang	保定 Baoding	沧州 Cangzhou	衡水 Hengshui	廊坊 Langfang	综合 Overall
1	播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>	19.60	19.82	16.22	17.03	17.28	17.02	16.88	17.52
2	藜 <i>Chenopodium album</i>	12.26	13.55	14.74	14.49	13.31	11.85	19.17	14.39
3	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	8.84	10.06	15.98	12.78	8.43	12.32	16.16	12.26
4	荠菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	9.05	8.27	11.57	12.75	5.84	3.60	10.18	9.43
5	蒺藜 <i>Polygonum aviculare</i>	1.73	3.20	9.01	6.69	9.39	8.85	8.35	6.63
6	麦瓶草 <i>Silene conoidea</i>	10.66	2.50	5.32	5.05	4.74	6.43	1.73	5.27
7	麦家公 <i>Lithospermum arvense</i>	4.68	12.49	2.64	2.93	3.43	6.22	2.48	4.50
8	雀麦 <i>Bromus japonicus</i>	1.43	0.60	9.16	7.39	2.04	2.50	0.00	3.97
9	小蓟 <i>Cirsium segetum</i>	2.23	4.95	1.31	3.05	5.72	4.01	6.15	3.66
10	小花糖芥 <i>Erysimum cheiranthoides</i>	3.63	3.80	2.28	6.22	2.33	1.37	0.70	3.30
11	节节麦 <i>Aegilops tauschii</i>	9.45	2.23	0.59	0.17	0.61	1.54	0.00	2.02
12	山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	0.25	2.39	0.50	0.37	2.29	4.03	3.42	1.60
13	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.50	1.57	0.00	0.78	4.45	1.48	3.20	1.55
14	酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>	0.50	1.88	0.23	0.48	2.01	6.27	1.72	1.50
15	葎草 <i>Humulus scandens</i>	1.51	1.33	2.03	1.61	0.53	1.52	1.41	1.43
16	田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	0.53	0.62	0.74	1.50	2.96	1.54	0.46	1.24
17	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	1.08	0.66	0.00	0.00	3.24	4.63	0.00	1.13
18	猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	1.68	2.90	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
19	白花夏至草 <i>Lagopsis supina</i>	0.00	0.40	0.45	0.53	1.31	1.04	1.35	0.69
20	离蕊芥 <i>Malcolmia africana</i>	0.83	1.02	0.23	0.33	0.00	0.00	1.72	0.53
21	苣荬菜 <i>Sonchus brachyotus</i>	1.16	0.00	0.00	0.00	1.75	0.34	0.00	0.44
22	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	0.00	0.62	1.49	0.40	0.00	0.38	0.00	0.43
23	地肤 <i>Kochia scoparia</i>	0.00	0.00	1.03	1.10	0.00	0.00	0.00	0.42
24	鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	0.00	0.00	0.29	0.16	1.52	1.24	0.00	0.41
25	独行菜 <i>Lepidium apetalum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	0.34	1.04	0.41
26	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	0.50	0.00	0.23	0.00	0.92	0.00	1.27	0.38
27	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i>	1.45	0.00	0.70	0.00	0.33	0.00	0.00	0.36
28	野燕麦 <i>Avena fatua</i>	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
29	看麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i>	0.00	1.22	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.32
30	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	1.50	0.31
31	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	0.32	0.00	0.00	0.16	1.13	0.34	0.00	0.28
32	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22

注:表中列出的为相对多度 ≥ 1 的杂草种类。Note: Weeds with relative abundance ≥ 1 were list in the table.

小花糖芥 *Erysimum cheiranthoides* L.、节节麦 *Aegilops tauschii* Coss.、猪毛菜 *Salsola collina* Pall.、酸模叶蓼 *Polygonum lapathifolium* L. 在个别地区的相对多度、发生频度较高,对小麦产量有较严重的影响,因此属于麦田区域性优势杂草。

藜 *Chenopodium album* L.、葎草 *Humulus scandens* (Lour.) Merr.、山苦荬 *Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai、田旋花 *Convolvulus arvensis* L.、芦苇 *Phragmites australis* (Cav.) Trin.、猪殃殃 *Galium aparine* L.、白花夏至草 *Lagopsis supina* (Steph.) IK. -Gal.、离蕊芥 *Malcolmia africana* (L.) R. Br.、苣荬菜 *Sonchus brachyotus* DC.、附地菜 *Trigonotis pedu-*

ncularis (Trev.) Benth. ex Baker et Moore、地肤 *Kochia scoparia* (L.) Schrad.、鸭跖草 *Commelina communis* L.、独行菜 *Lepidium apetalum* Willd.、泥胡菜 *Hemistepta lyrata* Bunge、小飞蓬 *Conyza canadensis* (L.) Cronq.、野燕麦 *Avena fatua* L.、看麦娘 *Alopecurus aequalis* Sobol.、苍耳 *Xanthium sibiricum* Patrln.、黄花蒿 *Artemisia annua* L. 在多个地区都有分布,但相对多度较小,或者由于出苗期较晚,尽管相对多度较大,但对小麦危害较小,因此属于麦田常见杂草。

其余 30 种杂草的相对多度和发生频度都较小,分布范围较窄,对小麦产量影响很小,因此属于麦田

一般杂草。

2.2 麦田杂草群落物种多样性

保定地区冬小麦田的杂草种类最多,物种丰富度为 34 种;邢台次之,为 32 种。邢台的 Gleason 指数最大,为 6.29。廊坊的物种数目最少,Gleason 指数也最小,分别为 22 和 4.55。尽管保定和廊坊的地理位置相邻,可是杂草种类相差 10 余种,保定地区的物种丰富度和 Gleason 指数分别是廊坊的 1.55 倍和 1.31 倍(表 2)。

廊坊地区 Simpson 指数最高,是沧州的 1.56 倍。廊坊地区 3 种 RA 最高的杂草即藜、播娘蒿和打碗花的 RA 之和高达 52.21%,是沧州地区的 1.35 倍,说明廊坊地区麦田杂草的优势草种比其它地区更明显。

与 Simpson 指数相反,沧州地区的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数最大,廊坊最小,分别是后者的 1.27 倍和 1.19 倍,说明沧州地区麦田杂草的种类和数量分布的均匀度均高于廊坊地区。

表 2 不同地区麦田杂草群落物种多样性测度

Table 2 Measurement of weed community diversity among different wheat regions

地区 Region	地块数 Field number	物种丰富度 Species richness	Gleason 指数 Gleason index	Simpson 指数 Simpson index	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Pielou 指数 Pielou index
邯郸 Handan	21	31	5.91	0.13	2.37	0.69
邢台 Xingtai	18	32	6.29	0.13	2.43	0.70
石家庄 Shijiazhuang	24	29	5.40	0.13	2.27	0.68
保定 Baoding	33	34	5.97	0.13	2.29	0.65
沧州 Cangzhou	21	30	5.72	0.11	2.60	0.76
衡水 Hengshui	15	26	5.30	0.12	2.49	0.76
廊坊 Langfang	14	22	4.55	0.18	2.05	0.64

2.3 群落相似性

将各地区 $RA \geq 1$ 的杂草构成矩阵进行系统聚类分析,结果表明河北省冬小麦田的杂草群落可以划分为 3 组,石家庄、保定、邢台和廊坊的杂草群落结构比较相似,沧州和衡水的杂草群落结构比较相似,邯郸的杂草群落结构与其它地区有较大不同。其中组内 Euclidean 距离平方最小的是石家庄与保定,为 21.06,组内 Euclidean 距离平方最大的是廊坊与邢台,为 62.25(图 1)。

2.4 主成分分析

通过主成分分析构成杂草分布二维散点图(图 2)。大部分喜盐或耐盐的草种,如:猪毛菜、地肤、酸模叶蓼、小薊、篇蓄等,分布于第 1 轴正半轴的右端,在第 1 主成分上有较高载荷;喜湿的杂草,如:播娘蒿、芦苇、香附子等,多分布于第 2 轴正半轴;耐旱的杂草,如:藜、苍耳、荠菜、雀麦、山苦荬、篇蓄等,分布于第 2 轴的负半轴,在第 2 主成分上有较高载荷。因此 PCA 分析中,第 1 轴所反映的生态学意义是土壤的盐度,越靠近第 1 轴的右端土壤盐度越大,反之则越小;第 2 轴所反映的是土壤湿度,越靠近第 2 轴的上端土壤湿度越大,反之则越小。从特征值贡献率和杂草实际分布情况可以看出第 1 主成分向量所反映的生态学意义的强度高于第 2 主成分向量。

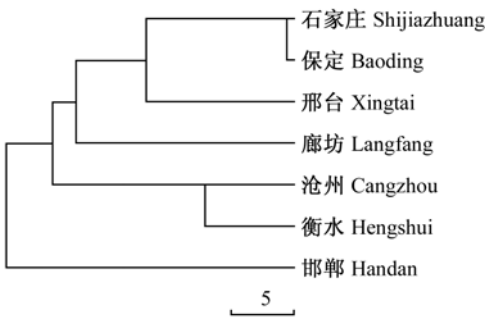


图 1 河北省冬小麦田杂草群落的聚类分析

Fig. 1 Hierarchical cluster analysis of weed community in winter wheat fields in Hebei

数据经标准化后构成不同地区二维散点图(图 3)。沧州和衡水地区位于地区二维散点图的第 1 象限,猪毛菜、酸模叶蓼、小薊、篇蓄、地肤、芦苇等耐盐草种或喜湿草种在该地区麦田杂草群落中的 RA 明显高于其它地区。邯郸位于散点图第 2 象限右上方,播娘蒿、麦瓶草等喜湿草种的 RA 明显高于其它地区。邢台在散点图中第 1 轴的负半轴附近,地理位置位于石家庄、衡水和邯郸之间,是打碗花、藜、节节麦、芦苇等草种向不同方向过渡的地区。石家庄、保定和廊坊均在散点图中第 2 轴的负半轴,其麦田杂草群落中藜、打碗花、荠菜、雀麦等耐旱草种的 RA 明显高于其它地区。杂草群落 PCA 分析结果与

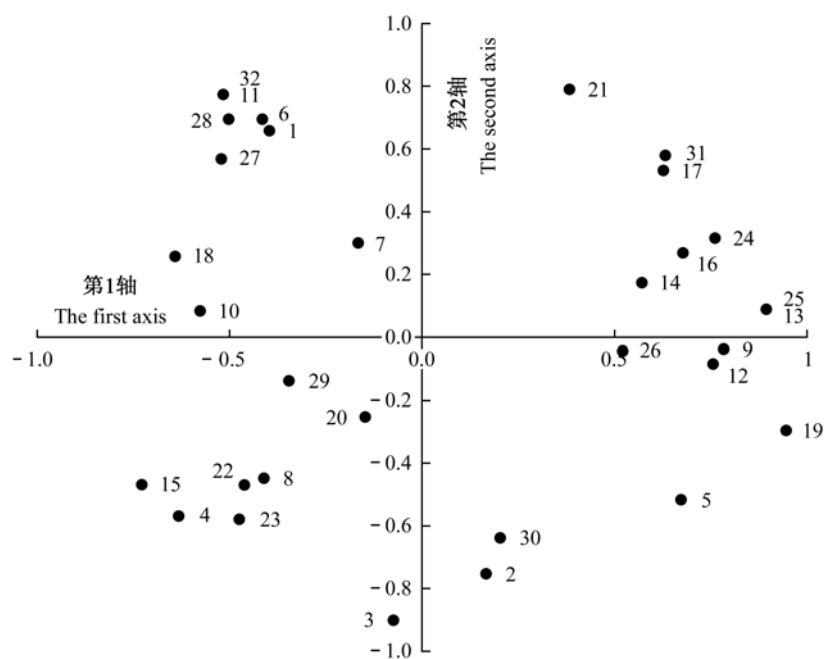


图2 杂草 PCA 二维散点图

Fig. 2 Two-dimensional scatter plot of PCA for weeds

注:图中杂草编号见表1。Note: The serial number of weeds in the plot see Table 1.

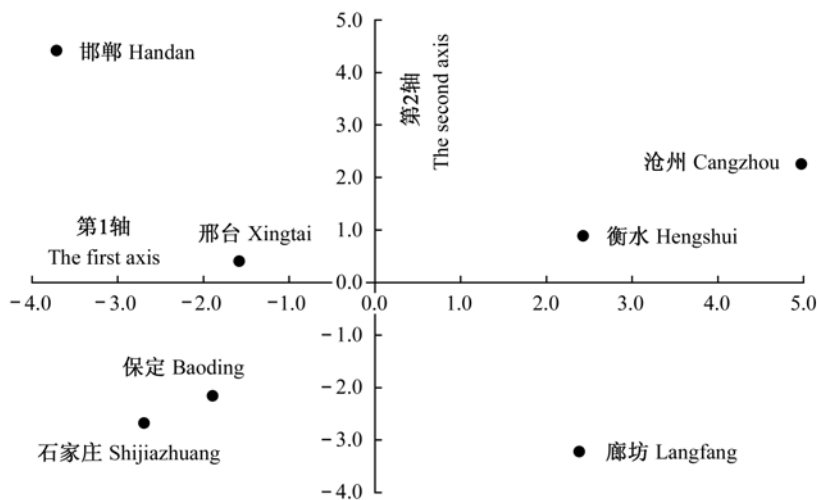


图3 地区 PCA 二维散点图

Fig. 3 Two-dimensional scatter plot of PCA for regions

群落相似性分析结果一致。

3 讨论

物种丰富度影响生态系统的稳定性^[20]。物种多样性越高、优势种越不明显、物种的数目和数量分布越均衡,则生态系统的稳定性越强^[21]。调查结果表明,廊坊地区冬小麦田杂草群落的 Gleason 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数最低,而 Simpson 指数最高,说明该地区的杂草种类最少、优势草种突

出、物种分布的均匀性较差,可能是由于田间化学除草的压力较高,致使敏感杂草的密度下降而不敏感杂草的密度上升。较低的物种丰富度对农田生态系统稳定性的影响还有待进一步研究。

20 世纪 90 年代中期本课题组对衡水和沧州地区的冬小麦田杂草群落进行了调查,该地区麦田优势杂草以播娘蒿、麦家公、荠菜等双子叶杂草为主^[22]。2007 年北京市的麦田杂草群落以双子叶杂草组合为主,禾本科杂草的发生频度较1990年大幅

增加^[23]。本研究中,播娘蒿、打碗花、荠菜、麦瓶草和麦家公等一年生或多年生的双子叶杂草仍然是河北省冬小麦田的优势杂草,各地区优势杂草的结构差异并不十分明显,主要是由于播娘蒿等双子叶杂草适应性强、竞争力大、田间种子库丰富等。节节麦在邯郸和邢台地区的个别地块已经上升为优势杂草^[24],造成局部杂草群落的演替,但是并未成为其它地区的优势杂草。节节麦比小麦成熟早、落粒早,其籽粒大部分在小麦收获前就脱落进入本地的土壤种子库。尽管每株节节麦的结实量高达 100 ~ 800 粒^[24],但相对于播娘蒿的结实量仍然显得很小,这些特点都不利于节节麦的远距离传播和竞争。

河北省冬小麦田长期使用苯磺隆等磺酰脲类除草剂,在除草剂的选择压力下播娘蒿的 ALS 基因序列发生变异^[25],抗药性大幅提高^[26],抗 ALS 抑制剂播娘蒿种群的形成给小麦生产造成严重的影响。对于这种虽然物种没有改变而基因序列发生改变所形成的“新”物种种群,可以看作是一种“隐性群落演替”,即由对某类除草剂敏感的杂草种群演替为具有抗药性的同一物种的杂草种群。

由于所调查区域内的耕作制度相似、人类相互活动频繁、农田灌溉条件好、地形差异小、地理位置接近等因素,均减轻了耕作制度、降雨、气温、光照等生态因子对物种分布和生长的影响程度,造成不同类型杂草混生和分布边界不明显。尽管如此,不同地区间土壤盐度和湿度的差异仍然导致杂草群落结构的多样化。因此,依据不同地区农田杂草群落的结构和发生特点,选择适当的农作措施和除草措施,才能达到和谐治理农田生态系统的目的。

参 考 文 献 (References)

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2011. 北京:中国农业出版社,2012
- [2] 姜德锋,刘树堂,陈洁敏,等. 化学除草对麦田杂草群落结构的影响. 植物保护学报,1999,26(4):367-370
- [3] Beckie H J, Warwick S I, Sauder C A, et al. Occurrence and molecular characterization of acetolactate synthase (ALS) inhibitor-resistant *Kochia* (*Kochia scoparia*) in Western Canada. Weed Technology, 2011, 25(1): 170-175
- [4] 陈新,严继勇,高兵. 野生大豆抗草甘膦基因漂移的初步研究. 中国油料作物学报,2004,26(2):89-91
- [5] Anderson R L, Stymiest C E, Swan B A, et al. Weed community response to crop rotations in Western South Dakota. Weed Technology, 2007, 21(1): 131-135
- [6] Enserink M. Biological invaders sweep in. Science, 1999, 285(5435): 1834-1836
- [7] 强胜,胡金良. 江苏省棉区棉田杂草群落发生分布规律的数量分析. 生态学报,1999,19(5):705-709
- [8] 张朝贤,胡祥恩,钱益新,等. 江汉平原麦田杂草调查. 植物保护,1998,24(3):14-16
- [9] 王开金,强胜. 江苏麦田杂草群落的数量分析. 草业学报,2007,16(1):118-126
- [10] 魏守辉,张朝贤,翟国英,等. 河北省玉米田杂草组成及群落特征. 植物保护学报,2006,33(2):212-218
- [11] 朱文达,魏守辉,张朝贤. 湖北省油菜田杂草种类组成及群落特征. 中国油料作物学报,2008,30(1):100-105
- [12] 杨宝珍,吕德滋. 河北省柏各庄垦区水稻-杂草群落及杂草的生物生态学特性. 植物生态学报,1984,8(4):305-312
- [13] 河北省地方志编纂委员会. 河北省志:自然地理志. 石家庄:河北科学技术出版社,1993
- [14] Thomas A G. Weed survey system used in Saskatchewan for cereal and oilseed crops. Weed Science, 1985, 33(1): 34-43
- [15] 李扬汉. 中国杂草志. 北京:中国农业出版社,1998
- [16] 中国科学院植物研究所. 新编拉汉英植物名称. 北京:航空工业出版社,1996
- [17] 马克平. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(上). 生物多样性,1994,2(3):162-168
- [18] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性,1994,2(4):231-239
- [19] 强胜,魏守辉,胡金良. 江苏省主棉区棉田杂草草害发生规律的研究. 南京农业大学学报,2000,23(2):18-22
- [20] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. Ecology, 1996, 77(2): 350-363
- [21] 谷卫彬,宇振荣,刘因慧. 农田边界生物多样性与边界属性相互关系研究. 生态学杂志,2002,21(3):10-14
- [22] 李秉华,李香菊,王勤. 衡水地区冬小麦田和夏玉米田的杂草群落组成. 河北农业科学,1995(4):31-33
- [23] 车晋滇. 北京市麦田杂草群落演替与防除技术. 杂草科学,2008(2):26-30
- [24] 张朝贤,李香菊,黄红娟,等. 警惕麦田恶性杂草节节麦蔓延危害. 植物保护学报,2007,34(1):103-106
- [25] Cui H L, Zhang C X, Wei S H, et al. Acetolactate synthase gene proline (197) mutations confer tribenuron-methyl resistance in flaxweed (*Descurainia sophia*) populations from China. Weed Science, 2011, 59(3): 376-379
- [26] Xu X, Wang G Q, Chen S L, et al. Confirmation of flaxweed (*Descurainia sophia*) resistance to tribenuron-methyl using three different assay methods. Weed Science, 2010, 58(1): 56-60

(责任编辑:谢小帆)