

青海高原干旱地区小麦主栽品种 田间化感作用评价

李 玮^{1,2,3}, 沈 硕¹, 郭青云^{1,2,3}

(1. 青海省农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 农业部西宁作物有害生物科学观测实验站, 青海 西宁 810016;
3. 青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘 要: 为探索以小麦和杂草共存的生态群落为基础的生态防控技术, 采用田间小区自然生长的方法, 对青海高原 10 个主栽小麦品种(系)的化感作用进行评价。通过计算各小麦品种(系)对田间主要杂草各项生长指标的抑制率、化感指数, 综合评价各小麦品种(系)在田间的控草作用强弱。结果表明: 各小麦品种对田间杂草总株数抑制率为 23.67% ~ 45.85%, 鲜重抑制率为 43.64% ~ 76.23%, 干重抑制率为 34.19% ~ 76.24%; 10 个品种(系)对田间优势杂草自生油菜 (*Brassica napus* L.) 和密花香薹 (*Elsholtziadensa* Benth.) 的化感指数 (*RI* 值) 绝大多数为负值, 说明 10 个品种(系)对田间优势杂草种群均表现出抑制作用, 其中高原 448 号品种田间化感抑草作用最强。基于最远邻近距离法, 将 10 个小麦品种(系)进行聚类分析得出: 高原 448 号、阿勃化感抑草作用最强, 高原 437 号、青春 38 号、乐麦 5 号、互麦 14、互麦 15 号、通麦 1 号化感抑草作用中等, 互助红和品系 74 化感抑草作用最差。

关键词: 青海高原; 干旱地区; 小麦品种; 化感作用
中图分类号: S512.1; S311 **文献标志码:** A

Evaluation on the allelopathic effect of the main wheat varieties in arid areas on Qinghai plateau

LI Wei^{1,2,3}, SHEN Shuo¹, GUO Qing-yun^{1,2,3}

(1. Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Science, Xining, Qinghai 810016, China;
2. State Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pest in Xining, Ministry of Agriculture, Xining, Qinghai 810016, China;
3. Provincial Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management in Qinghai, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: In order to develop ecologically weed control techniques based on ecological colonies with both of wheat and weeds surviving together, we evaluated the allelopathic effect of the main wheat varieties and lines in arid areas on Qinghai plateau. The allelopathic effect of the main was evaluated by the inhibition rate and values of response index (*RI*). The results showed that the inhibition rate of total plant numbers ranged from 23.67% to 45.85%, the inhibition rate of fresh weight ranged from 43.64% to 76.23%, and the inhibition rate of dry weight ranged from 34.19% to 76.24%. Most values of *RI* of 10 varieties of wheat on *Brassica napus* L. and *Elsholtziadensa* Benth. It means that all these 10 varieties have inhibitory effect on the dominant varieties of weed. Among them, the inhibitory effect of Gaoyuan 448 is the highest. Based on the furthest neighbor method, a cluster analysis was performed, showing that the inhibitory effect of Varieties Gaoyuan 448 and Abo was the highest, Gaoyuan 437, Qingchun 38, Lemai 5, Humai 14, Humai 15, and Tongmai 1 moderate, and Huzhuhong and 74 the lowest.

Keywords: Qinghai plateau; aridareas; wheat varieties; allelopathy; evaluation

化感作用 (Allelopathy) 是指植物或微生物向其生长环境中释放某些化学物质, 从而影响自身及其他有机体生长发育的现象^[1], 是相互作用的主要方式且在生态系统中生物体之间普遍存在。利用植物间化感作用控制农田杂草是减少化学农药使用量, 建立农业可持续发展的重要研究方向^[2-3]。其中在

收稿日期: 2016-03-21
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项: 农田杂草防控技术研究与示范(201303022); 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD19B02)
作者简介: 李 玮(1981—), 男, 黑龙江七台河人, 硕士, 副研究员, 研究方向为农田杂草综合防治研究。E-mail: lwbabylw@163.com。

小麦和杂草共生生态体系中研究发现,杂草与小麦之间因争夺光、水、肥等资源从而影响小麦的产量和品质^[4]。小麦是青海省主要粮食作物,小麦种植分布在海拔 1 700 ~ 2 900 m 左右的高原干旱、半干旱地区^[5-6]。青海春小麦田主要杂草以猪殃殃(*G. maborasense* Masamune)、藜(*C. album*)、荞麦蔓(*P. convolvulus* L.)、密花香薹(*E. densa* Benth)、节裂角茴香(*H. leptocarpum* Hook. F. et Thoms.)、篇蓄(*H. Polygoni* Avicularis) 6 种阔叶杂草为优势危害杂草^[7],目前主要采用化学除草手段来控制小麦田杂草危害,但长期持续使用化学除草剂引发的食品安全、公共卫生、自然环境及杂草抗(耐)药性等方面的不利影响已日益引起人们的关注。尤其是近年来由于气候变暖、耕作方式的改变、化学农药单一品种长期大剂量的使用等原因^[8],导致小麦田杂草抗药性产生和群落间演替加速,适应性强、繁殖力大、难以防除的恶性杂草危害逐年加重,严重影响青海高原地区的小麦生产。利用小麦化感品种控制田间杂草可为化学除草剂的减量使用提供一种可能的解决途径^[9]。因此,利用小麦化感作用的自身优势控制杂草危害,降低化学除草剂使用量已成为杂草科学研究的重要问题,对高原干旱、半干旱地区小麦的种植、增加高原地区农民的收入和保护三江源地区生态环境等具有重要的意义^[10]。

作物化感作用的特性由遗传因素决定,不同品种或品系的作物产生化感作用的范围和程度差别很大^[11]。Olofsdotter 等研究表明,作物品种之间化感抑制杂草作用存在约 34% 的差异性^[12],李贵等对不同水稻品种抑制杂草的潜力进行了田间评价^[13]。目前关于小麦品种的化感差异性评价方面的研究较多,研究方法多为室内培养皿法和温室盆栽法^[14-18]。其中本课题组采用培养皿共培法,选择青海高原 8 个小麦主栽品种,以旱雀麦(*Bromustectorum* Linn)为受体进行了品种间化感作用差异性评价^[19],但在田间自然条件下对小麦—杂草共生关系、不同小麦品种化感抑草差异性的评价报道较少。

不同小麦品种化感作用的差异性仅仅通过在实验室模拟条件下,不能充分表现出来,另外在田间小麦—杂草相互关系往往是相互竞争和化感作用的综合表现,受自然综合条件因素影响较多^[20]。因此,在田间自然情况下对青海高原小麦主栽品种进行化感作用评价在生产上更具实际意义。本研究选择青海高原 9 个小麦主栽品种和 1 个品系,通过田间小区试验的方法,考察它们对田间杂草的综合抑制作用。筛选出具有良好抑制杂草能力的小麦主栽化感

品种,并应用于生产实践。为深入开展青海高原干旱、半干旱地区基于小麦—杂草化感作用的生态关系研究提供理论支撑,对实现青海高原小麦生产中化学除草剂减量使用的目标具有重要价值。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2015 年在青海省湟中县鲁沙尔镇朱家庄进行,试验地为一年一季春油菜—春小麦轮作田,前茬为春油菜,施用土壤处理剂 48% 氟乐灵 EC 3.0 L·hm⁻² 防除杂草。试验地海拔 2 825 m,属高原半干旱脑山地区,年均温 2.9℃,2015 年试验区域内降雨量略高于往年,为 430 mm 左右,蒸发量 900 mm 左右。试验地地势平整,肥力均匀,土壤类型为黑钙土,土壤全 N 含量 3.51 g·kg⁻¹、全 P 含量 1.95 g·kg⁻¹、全 K 含量 31.99 g·kg⁻¹、有机质含量 22.15 g·kg⁻¹、pH 值 8.17、速效 N 含量 166 mg·kg⁻¹、速效 P 含量 19.3 mg·kg⁻¹、速效 K 含量 190 mg·kg⁻¹。

1.2 供试材料及播种

供试小麦品种为青海高原干旱、半干旱地区 9 个小麦主栽品种及一个未审定品系(由青海省农林科学院种子复份库提供),见表 1。

表 1 参试小麦品种(系)名称及编号
Table 1 Name and number of wheat varieties(line)

编号 No.	品种(系)名称 Variety(line)
1	高原 437 Gaoyuan 437
2	高原 448 Gaoyuan 448
3	阿勃 Abo
4	青春 38 Qingchun 38
5	通麦 1 号 Tongmai 1
6	互助红 Huzhuhong
7	互麦 14 号 Humai 14
8	互麦 15 号 Humai 15
9	乐麦 5 号 Lemai 5
10	品系 74 Line 74

2014 年 4 月 8 日开始播种,供试品种(系)按小区种植,每个小区面积 15 m²,每小区内点播种植 15 行,播种量 33 g·行⁻¹(337.5 kg·hm⁻²),每个品种 3 个重复,小区随机排列,同时设空白对照区(不播种春小麦),每个试验小区之间留出 1 m 缓冲保护区。

1.3 调查与分析方法

1.3.1 调查方法 小麦播种完成后,在小麦花期进行调查,田间主要杂草有野油菜(*Brassica napus* L.)、藜(*Chenopodiumalbum* Linn.)、密花香薹(*Elsholtziadensa* Benth.)、冬葵(*Mahaverticillata* L.)、野燕麦

(*Avenafatua* L.)、遏蓝菜(*Thalaspia* *arvense* L.)、节裂角茴香(*Hypocoumleptocarpum*Hook . F. et Thoms.)、泽漆(*Euphorbia helioscopia* Linn.)等杂草,发生密度较大,分布较均匀。每小区随机选择 3 点,每点 0.25 m² (0.5 m×0.5 m),调查自生油菜、密花香薷等主要杂草和其它阔叶杂草总株数。将调查点内自生油菜、密花香薷和其它阔叶杂草连根挖出,用自来水洗净根系并把各植株根系分开,用干布擦干杂草表面水分后,称取各杂草重量及总草重量。随后将各种杂草置入恒温干燥箱,104℃杀青 30 min,然后于 70℃烘 72 h 至恒重,用电子天平分别测定它们的干重,以空白区为对照,按下式分别计算各处理区内杂草的株数抑制率、鲜重抑制率和干物质重量抑制率。上述三项指标分别按照以下公式计算^[13,21-22]:

抑制率(%)=(对照区杂草株数-处理区杂草株数)/对照区杂草株数×100

鲜重抑制率(%)=(对照区杂草鲜重-处理区杂草鲜重)/对照区杂草鲜重×100

干物质重量抑制率(%)=(对照区杂草干重-处理区杂草干重)/对照区杂草干重×100

小麦株高测量:每小区内每行随机选择 2 株,共 15 行,每小区测定 30 株。

1.3.2 分析方法 试验采用完全随机设计,试验所得数据用 SPSS20.0 软件进行方差分析和显著性测验,并对数据进行 Q 型聚类分析。然后将不同杂草的株数、鲜重量、干物质重量数据转化为 *RI* 值后进行比较,*RI* 值的计算公式如下:

$$RI = \begin{cases} 1 - C/T & (T \geq C) \\ T/C - 1 & (T \leq C) \end{cases}$$

式中,*C* 为对照值,*T* 为处理值,*RI* > 0 呈促进作用,*RI* < 0 表示抑制作用,其绝对值的大小与作用强度成正比例关系^[23]。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种(系)对田间杂草总体抑制效果

通常研究认为小麦在花期前化感物质表现作用最为明显,植物为争夺有限的资源,化感物质分泌量最大,所以本试验在所有小麦品种(系)进入花期后,调查不同小麦品种对田间总杂草的株数、鲜重、干物质重,并将其换算成抑制率。由表 2 可以看出 10 个小麦品种(系)对田间单、双子叶杂草的生长均有抑制作用,其中具有明显化感特性的小麦品种高原 448 号对田间杂草的总体发生数量控制(45.85%)、鲜重抑制(76.23%)、干物质量抑制(76.24%)均表现出良好的抑草作用,阿勃、青春 38 号和互助红这

3 个品种在田间自然条件下也表现出较好的化感抑草作用,供试 10 个小麦品种(系)对田间杂草总体鲜重抑制效果明显。

表 2 不同小麦品种(系)对田间杂草总体抑制效果
Table 2 Inhibitory effects of different wheat varieties(line)

on weeds in the field				
小麦品种(系) Wheat varieties(line)	总草抑制率 Total weed inhibition/%			小麦株高 Stem length /cm
	株数 Stem number	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	
高原 437 Gaoyuan 437	28.62ab	47.10c	56.40bc	101.57bc
高原 448 Gaoyuan 448	45.85b	76.23b	76.24b	104.09c
阿勃 Abo	44.12b	68.01bc	72.77b	90.25a
青春 38 Qingchun 38	40.42b	64.90bc	65.56b	102.46bc
通麦 1 号 Tongmai 1	36.83b	54.47bc	53.76bc	100.38b
互助红 Huzhuhong	40.87b	66.25bc	63.14b	90.07a
互麦 14 号 Humai 14	28.96ab	64.16bc	62.60b	98.67b
互麦 15 号 Humai 15	34.73b	60.70bc	59.18bc	97.34b
乐麦 5 号 Lemai 5	34.19b	65.12bc	58.48bc	96.38b
品系 74 Line 74	23.67ab	43.64c	34.19c	89.12a
CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00

注:同列不同字母表示差异达显著水平(*P* < 0.05),下同。
Note: Date followed by different letters in the same column indicate significant difference at *P* < 0.05 level. The same below.

2.2 不同小麦品种(系)对田间主要发生杂草抑制效果

由于本试验安排在青海高原半干旱地区中最具代表性的种植模式春小麦—春油菜轮作区,根据田间杂草调查结果表明自生油菜(*Brassica napus* L.)和密花香薷(*Elsholtziadensa* Benth.)两种杂草为主要优势杂草。由表 3 可以看出,高原 448 号对田间优势杂草化感抑制作用明显,阿勃、青春 38 号和高原 437 号也表现出较好的化感抑制潜力。10 个春小麦品种(品系)对小麦田间的优势杂草自生油菜,无论在发生数量、鲜重和干物质重量方面均具有抑制作用,而对优势杂草密花香薷的株数抑制方面,互助红、互麦 14 号、互麦 15 号等品种(系)从表观数据来看,没有表现出明显化感抑制潜力。通过方差分析结果显示,各品种(系)之间不存在显著性差异,且在鲜重和

干物质指标上均表现出化感抑制作用,综合评价后 草自生油菜和密花香薹均表现出化感抑制作用。得出 10 个春小麦品种(系)对小麦田间主要优势杂

表 3 不同小麦品种(系)对田间主要杂草抑制效果
Table 3 Inhibitory effects of different wheat varieties(line) on the major kinds of weeds in the field

品种(系)编号 No. of varieties(line)	自生油菜 <i>Brassica napus</i> L.			密花香薹 <i>Elsholtziadensa</i> Benth.		
	株数/(株·0.25m ⁻²) Stem-number /(stem·0.25m ⁻²)	鲜重 Fresh weight /(g·0.25m ⁻²)	干重 Dry weight /(g·0.25m ⁻²)	株数/(株·0.25m ⁻²) Stem-number /(stem·0.25m ⁻²)	鲜重 Fresh weight /(g·0.25m ⁻²)	干重 Dry weight /(g·0.25m ⁻²)
1	19.78 ± 5.40b	95.11 ± 11.62bcd	25.32 ± 5.89c	7.00 ± 1.05b	13.91 ± 1.11c	4.72 ± 0.68bc
2	16.11 ± 2.29b	55.31 ± 8.80d	12.89 ± 2.15c	7.00 ± 1.79b	13.31 ± 1.78c	3.86 ± 0.50c
3	17.89 ± 2.17b	63.83 ± 3.82cd	14.94 ± 2.32c	8.45 ± 1.53b	16.55 ± 0.11c	4.19 ± 0.80bc
4	18.67 ± 3.46b	91.84 ± 9.66bcd	25.36 ± 3.65c	9.22 ± 0.42b	17.10 ± 1.90c	4.68 ± 1.44bc
5	22.11 ± 2.91b	130.55 ± 15.58bcd	34.38 ± 6.23bc	10.00 ± 2.77b	26.62 ± 4.49abc	7.09 ± 0.73abc
6	23.76 ± 4.00ab	152.16 ± 15.93bc	33.01 ± 3.87bc	10.33 ± 1.31b	24.23 ± 4.33bc	7.07 ± 1.47abc
7	26.00 ± 8.02ab	101.09 ± 13.72bcd	27.55 ± 4.65c	10.55 ± 1.35b	20.95 ± 2.15bc	5.74 ± 0.08bc
8	22.67 ± 6.35ab	115.95 ± 10.37bcd	30.54 ± 3.45c	11.00 ± 1.58b	17.70 ± 3.15c	4.92 ± 0.83bc
9	23.78 ± 1.09ab	103.73 ± 8.02bcd	32.69 ± 3.22bc	11.00 ± 2.01b	42.63 ± 4.14ab	9.94 ± 0.49ab
10	27.44 ± 3.88ab	176.34 ± 19.43b	53.86 ± 7.98ab	9.04 ± 1.72b	22.38 ± 2.01bc	5.89 ± 0.99bc
CK	37.11 ± 3.66a	284.83 ± 29.63a	73.09 ± 6.70a	9.78 ± 1.07a	46.63 ± 2.96a	11.89 ± 2.52a

2.3 不同小麦品种(系)化感指数(RI)分析

数据转换为化感指数(RI)后,可排除试验干扰因素,在同一标准下比较各品种(系)之间的化感作用差异性较为客观,RI 值绝对值的大小与化感作用的强弱成正比,可直观地反映出各品种(系)化感作用的强弱。将田间主要优势杂草自生油菜和密花香薹处理值转化为 RI 值,株数、鲜重和干重的 RI 值数据比较结果见图 1 和图 2。

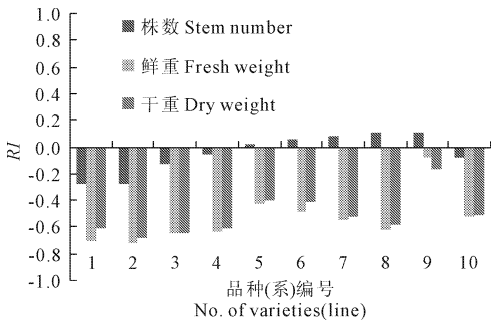


图 1 10 个小麦品种(系)对自生油菜化感作用株数、鲜重和干重的 RI 值

Fig.1 Values of RI of 10 varieties(line) of wheat on *Brassica napus* L.

从图 1 中 RI 值比较可知:各品种株数 RI 值在 -0.26~0.57 之间、鲜重 RI 值在 -0.38~0.81 之间、干重 RI 值在 -0.26~0.82 之间。10 个品种(系)的 RI 值均小于 0,而品种高原 448 号 RI 值的绝对值相对于其他品种较大,由此可以得到高原

448 号对自生油菜化感作用较强。由图 2 可知:10 个品种(系)株数 RI 值在 -0.28~0.11 之间、鲜重 RI 值在 -0.09~0.71 之间、干重 RI 值在 -0.16~0.68 之间。通过 RI 值的分析,10 个小麦品种(系)对优势杂草自生油菜和密花香薹株数的化感作用影响较小,但对鲜重和干重影响较大,这一结果与田间实际调查总体目测结果相吻合。

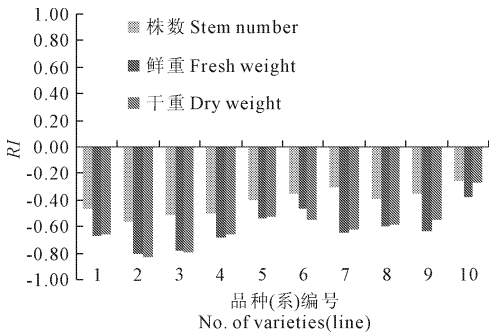


图 2 10 个小麦品种(系)对密花香薹化感作用株数、鲜重和干重的 RI 值

Fig.2 Values of RI of 10 varieties(line) of wheat on *Elsholtziadensa* Benth.

2.4 不同小麦品种(系)化感作用的聚类分析

基于最远邻近距离法,将 10 个小麦品种(品系)运用 SPSS 20.0 软件进行欧式距离计算,并聚类分析^[23],结合聚类分析和田间调查结果将其分为 3 类(见图 3)。高原 448 号、阿勃为田间可表现出较强化感作用的春小麦品种;高原 437 号、青春 38 号、互麦

14 号、互麦 15 号、乐麦 5 号、通麦 1 号 6 个品种为化感作用中等;互助红和品系 74 为化感作用较弱品种。

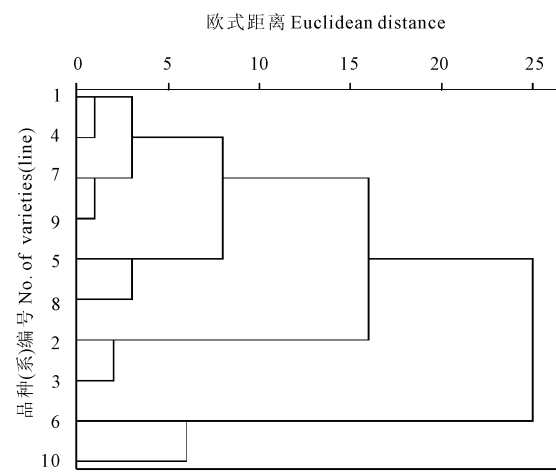


图 3 10 个小麦品种(系)的聚类分析

Fig.3 Dendrogram of the cluster analysis for *RI* values of the ten wheat varieties

3 讨 论

3.1 在田间自然生长状态下化感品种评价的实际应用价值

本研究分析评价了青海高原干旱、半干旱地区 10 个主栽春小麦品种(系),在田间小区自然条件下的化感控草作用。筛选到高原 448 号、阿勃两个田间化感控草作用较强的春小麦品种,高原 437 号、青春 38 号等 6 个化感抗草潜力中等的品种,而互助红和品系 74 为化感抗草作用较弱的春小麦品种(系)。在田间条件下影响化感物质表达的环境因素众多^[24],开展小麦品种化感潜力的田间评价工作,是对本课题组前期关于青藏高原干旱地区 8 个小麦主栽品种化感作用^[19]室内评价结果的验证和拓展。室内和田间共同筛选评价的结果才能更加客观地反映出小麦品种化感作用的差异,在本地具代表性的生长环境中开展的试验有利于对小麦品种的综合表现进行全面评价,对小麦育种工作也同样具有积极的意义。

目前国内外关于小麦的化感研究和化感品种の利用,绝大多数局限于在限定条件下的化感物质分离、鉴定及对某种受体杂草种子萌发和幼苗生长等方面。尽管科研人员在实验室对化感作用作了大量研究,但在田间条件下很少显示出其科研成果^[25]。这可能是因为实验室内很难模拟田间真实的自然状况,田间条件下化感作用很难与资源竞争及其它生物因子相区分。实验室的模拟实验可以评估品种的化感作用潜能,但要确认其被观察的化感作用能

够被表达出来,则田间试验是必不可少的。在生产实际中,小麦与杂草的相互关系往往是化感作用和资源竞争共同作用的结果,而且资源竞争表现更主要、更普遍,利用具有较强化感抑草特性的小麦品种来控制杂草的危害,进而达到减少化学除草剂使用量的目标,实现旱作田的杂草生态控制具有很强的可操作性。

3.2 小麦化感品种田间控草的差异性与其遗传性状的关系

作物的化感作用特性主要由遗传因素决定,并受环境因子和生物因素的共同作用^[26]。青海高原光照强,昼夜温差大,农作物干物质积累多,是全国著名的小麦高产區,化感作用较强的高原 448 号和阿勃已在青藏高原旱作区种植多年^[27],且种植面积较大,是否长期在此环境因子和杂草群落相对稳定的条件下生长繁育,其遗传因素发生了改变,导致其在田间对杂草表现出较强的化感抑制作用。另外,作物抑草效果的农艺性状可以在生产实际中发挥作用,例如植株高度通常与其对杂草的抑制作用有关^[13]。本试验中,高原 448 是所有供试品种中株高最高的品种,而品系 74 和互助红品种相对株高较低,因此株高在各小麦品种(系)对田间杂草的抑制作用中起到重要作用,而近年来针对提高产量、抗虫害、株高的控制等不同特性开发的品种化感抑草作用不明显。所以综合各方面因素分析,可初步得到在生态系统中适应时间的长短(如品种阿勃 1957 年审定)和品种的部分农艺性状(如株高等)与田间化感抑草潜力有关。

在化学农药减量、高效使用,保护生态系统平衡性的大环境下,本课题组开展青海高原干旱、半干旱地区小麦主栽品种的室内和田间化感抑草作用评价,为育种工作者提供化感资源分析数据,对开发出适合在青海高原推广的优质小麦品种及保护高原生态环境具有重要价值。

参 考 文 献:

[1] Rice E L. Allelopathy[M]. New York: Academic Press, 1984.
[2] Zeng R S, Mallik A U, Luo S M. Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry[M]. New York: Springer, 2008:39-59.
[3] 孔垂华,胡 飞.植物化感作用及其应用[M].北京:中国农业出版社,2001.
[4] Bastiaans L, Paolini R, Baumann D T. Focus on ecological weedmanagement: What is hindering adoption? [J]. Weed Research, 2008, 48:481-491.
[5] 姚 强,贺苗苗,闫佳会,等.春小麦品种青春 39 的抗条锈性遗传分析[J].麦类作物学报,2014,34(1):39-42.

[6] 王寒冬,张 波,陈文杰,等.青海小麦品种的种子表型性状分析[J].麦类作物学报,2015,35(4):471-478.

[7] 翁 华,魏有海,郭良芝,等.青海省春麦田杂草种类组成及群落特征[J].作物杂志,2015,3:116-120.

[8] 李 玮.麦田除草剂药害诊断及对产量的影响研究[J].广东农业科学,2013,18:66-68.

[9] Gealy D R, Wailes E J, Estorminos Jr. L E, et al. Ricecultivar differences in suppression of barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) and economics of reduced propanilrates[J]. Weed Science, 2013, (3):116-120.

[10] Schulz M, Marocco A, Tabaglio V, et al. Benzoxazinoids in rye allelopathy-from discovery to application in sustainable weed control and organic farming[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39: 154-174.

[11] He H B, Wang H B, Fang C X, et al. Separation of allelopathy from resource competition using rice barnyard grass mixed cultures[J]. Plosone, 2012, 7(5): 1061-1073.

[12] Olofsson M, Navarez D, Rebulanan M, et al. Weed-suppressing rice cultivars-does allelopathy play a role? [J]. Weed Research, 1999, 39:441-454.

[13] 李 贵,吴竞仑,王一专,等.不同水稻品种抑制杂草潜力的田间评价[J].中国农业科学,2010,43(5):965-971.

[14] Wu H, Haig T, Prafley J, et al. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation of phenolic acids in shoot tissues[J]. Journal of Chemical Ecology, 2001, 27(1): 125-135.

[15] 张晓珂,梁文举,姜 勇.东北地区不同小麦品种对黑麦草的化感作用[J].应用生态学报,2006,17(7):1191-1195.

[16] 张 芳,慕小倩,戴 明.8个栽培小麦品种的化感差异及其对除草剂药效的影响[J].麦类作物学报,2009,29(2):324-329.

[17] 孙红艳,林瑞余,叶陈英,等.化感小麦种质资源的筛选与评价[J].中国生态农业学报,2008,16(4):894-899.

[18] 陈 珊,谢惠玲,李圆萍,等.低碳胁迫下小麦抑草作用的化感效应与资源竞争分析[J].中国生态农业学报,2014,22(9): 1069-1073.

[19] 陶俊杰,李 玮,魏有海,等.青藏高原干旱地区 8 种主栽小麦品种对旱雀麦的化感作用评价[J].干旱地区农业研究,2015, 33(1):258-261.

[20] 叶仁杰,李彩娟,陈艳玲,等.小麦化感作用及其在农业生产中的应用综述[J].安徽农学通报,2011,17(15):49-55.

[21] 农业部农药检定所.农药田间药效试验准则(二)[M].北京:中国标准出版社,2004.

[22] William son G, Richardson D. Bioassay for allelopathy: Measuring treatment response with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14: 181-188.

[23] 杜 强,贾丽燕.Sps 统计分析从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2011.

[24] Gianoli E, Niemeyer H M. Environmental effects on the accumulation of hydroxamic acids in wheat seedlings: The importance of plant growth rate[J]. Journal of Chemical Ecology, 1997, 23:543-551.

[25] 左胜鹏.不同基因型小麦化感作用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.

[26] 张晓珂,姜 勇,梁文举,等.小麦化感作用研究进展[J].应用生态学报,2004,15(10):1967-1972.

[27] 李红琴,刘宝龙,刘登才,等.青海省审定小麦品种的农艺性状多样性分析[J].麦类作物学报,2011,31(6):1967-1972.

(上接第 257 页)

[87] Wei S, Hu W, Zhou S, et al. A rice calcium-dependent protein kinase OsCPK9 positively regulates drought stress tolerance and spikelet fertility[J]. BMC Plant Biol, 2014, 14(1):133-146.

[88] Shin D J, Moon S J, Kim B G, et al. Expression of StMYB1R - 1, a novel potato single MYB - Like domain transcription factor increases drought tolerance[J]. Plant Physiology, 2011, 155(1):421-432.

[89] 贾小霞,恩 芳,胡新元,等.转录因子 *DREB1A* 基因和 *Bar* 基因双价植物表达载体的构建及对马铃薯遗传转化的研究[J].草业学报,2015,23(3):110-117.

[90] Movahedi S, SayedTabatabaei B E, Khaksar G, et al. Constitutive expression of *Arabidopsis DREB1B* in transgenic potato enhances drought and freezing tolerance[J]. Biologia Plantarum, 2012, 56(1): 37-42.

[91] Xu Q F, He Q, Tian Z D, et al. Molecular characterization of StNAC2 in potato and its overexpression confers drought and salt tolerance[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(6):1841-1851.

[92] 李葵花,高玉亮,吴京姬,等.转 *P5CS* 基因马铃薯“东农 303”耐盐、抗旱性研究[J].江苏农业科学,2014,42(11):131-133.

[93] 张 宁,司怀军,王 帝,等.转甜菜碱醛脱氢酶基因马铃薯的抗旱耐盐性[J].作物学报,2006,35(6):1146-1150.

[94] Zhang N, Si H J, Wang D, et al. Enhanced drought and salinity tolerance in transgenic potato plants with a *BADH* gene from spinach[J]. Plant Biotechnology Reports, 2011, 5(1):71-77.

[95] Zhai H, Wang F, Liu Q, et al. A myo - inositol - 1 - phosphate synthase gene, *lbMIPSI*, enhances salt and drought tolerance and stem nematode resistance in transgenic sweet potato [J]. Plant Biotechnol, 2016, 14(2):592-602.

[96] 聂利珍,于肖夏,李国婧,等.拟南芥 *AtCDPK7I* 基因克隆与转化马铃薯的研究[J].西北植物学报,2015,35(3):447-450.