

不同氮肥施用量对东北玉米田杂草发生的影响

王玉娜, 米国华

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 利用吉林省梨树县黑土区氮肥长期定位试验田(施氮水平为 0、60、120、180、240、300 kg/hm²), 2019 ~ 2020 两年调查玉米田杂草种类、密度和生物量及其与玉米生物量和产量的关系。结果表明, 试验条件下玉米田杂草主要是禾本科杂草, 尤其是水稗草 *Echinochloa oryzoides*。与不施肥相比, 60 kg/hm² 施氮量增加杂草密度和生物量; 随氮肥施用量的增加, 杂草的密度和生物量均显著降低。在 180 kg/hm² 供氮量时, 杂草的密度和生物量达到最低, 分别比 60 kg/hm² 施氮量的最大值下降 81% ~ 94% 和 90%, 玉米产量达到最大。与 180 kg/hm² 施氮量相比, 进一步增加施氮量, 玉米产量不增加, 杂草的密度和生物量也不再减少。因此, 从施肥经济效益和杂草防控两个方面综合考虑, 该地区最优施肥量为 180 kg/hm²。

关键词: 玉米; 氮肥施用量; 杂草

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effects of Nitrogen Application Rates on Weed Occurrence in Maize Field in Northeast China

WANG Yu-na, MI Guo-hua

(College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The species, density and biomass of weeds in maize fields and their relationship with corn biomass and yield were investigated in 2019–2020 in a long-term nitrogen fertilization field in Lishu county, Jilin province, in which the nitrogen application levels were 0, 60, 120, 180, 240 and 300 kg/ha. The results showed that the weed in maize field was dominated by grass weed, especially *Echinochloa oryzoides*. Compared with zero fertilization, 60 kg/ha nitrogen input increased weed density and biomass. Then, with the increase of nitrogen fertilizer, the density and biomass of weeds decreased significantly. At nitrogen rate of 180 kg/ha, weed density and biomass reached the lowest, decreased by 81%–94% and 90%, respectively, compared with the maximum at 60 kg/ha nitrogen treatment. Meanwhile, maize yield reached the maximum too. Compared with nitrogen fertilizer at 180 kg/ha, further increase in nitrogen input either increase maize yield nor reduced the density and biomass of weeds. Therefore, considering both the economic benefits of fertilization and weed control, the optimal fertilizer rate for this area is 180 kg/ha.

Key words: Maize; Nitrogen application rate; Weed

玉米是全球最重要的粮食作物, 在世界谷物总产量中位居首位^[1]。我国玉米总产量占世界玉米总产量的 20% 左右, 玉米种植面积占世界玉米种植面积的 22%。近 10 年, 我国玉米产量不断增加^[2], 这与

玉米品种改良、栽培技术创新及化肥、植保、农业机械投入等因素密不可分^[3,4]。在植株生长过程中, 杂草不仅会和作物争夺光照、水分、生长空间和营养物质等, 还会为病虫提供栖息场所、作为病虫害的媒介促进病虫害的传播^[5-8]。目前杂草控制以化学除草为主, 我国每年在农业生产中投入杂草防治费用高达 235 亿元, 除草剂在农药市场中的占比已经达到了 25% 以上^[9], 这对环境造成很大压力, 甚至影响农业的可持续发展。因此, 有必要深入了解不同栽培措施及生长环境下玉米田各类杂草的发生规律, 实现杂草综合防治, 要减少化学除草剂的使用。

玉米田杂草的发生及生长受到很多因素的影

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 国家重点研发计划“北方玉米化肥农药减施技术集成研究与示范”(2017YFD0201801)

作者简介: 王玉娜(1996-), 女, 河北沧州人, 在读硕士, 从事植物营养与生物胁迫关系研究。

E-mail: wangyuna0323@163.com

米国华为本文通讯作者。E-mail: miguohua@cau.edu.cn

响,如土壤养分水分含量^[10-13]、不同物种间对地上部光的竞争以及土壤中养分水分资源竞争^[14]、土壤中每年草籽的积累以及草籽的迁移等。土壤养分状况和施肥管理措施可以影响土壤养分情况,从而对田间杂草物种组成、生物量以及作物和杂草间的关系造成影响^[15,16]。Éva Lehoczy等研究发现,与不施氮肥相比,施氮量为150 kg/hm²时会增加田间杂草密度。尹力初等^[17]发现,不施氮肥时,作物生长受限,与杂草的竞争能力变弱,进一步导致杂草的数量增加。施用氮肥增加玉米生长,可以削弱杂草对阳光、水分、养分和空间的利用能力。以往研究缺少长期施用不同用量氮肥对杂草发生的影响的定位观察,

对推荐施肥的指导意义较小。为此,开展利用玉米不同施氮量的长期定位试验田,对氮肥与杂草发生的关系进行定量分析,通过氮肥用量的优化,可协调实现高产与除草剂减量施用的双重目标。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在吉林省梨树县四棵镇乡三棵树村(43°21' N, 124°05' E)进行,梨树县位于吉林省中南部,属北温带半湿润季风大陆性气候,平均降雨量为587 mm。土壤类型为黑土,试验地土壤基本理化性质见表1。

表1 2019年试验地土壤基本理化性质(0~20 cm)

Table 1 Basic chemical properties of the 0–20 cm soil in the experimental field in 2019

氮水平(kg/hm ²) N level	全氮(g/kg) Total N	有效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	有机质(g/kg) Organic matter	pH值 pH Value
0	1.3	50.0	153	20.3	5.9
60	1.3	56.9	167	30.6	5.6
120	1.3	43.7	171	19.4	5.8
180	1.3	44.4	145	18.7	6.0
240	1.3	27.8	150	17.8	5.7
300	1.8	45.1	162	24.0	5.4

1.2 试验设计

试验在玉米氮肥施用量定位试验田进行,该定位试验从2014年开始。玉米的氮肥施用量设置6个水平,分别为0、60、120、180(优化)、240(传统)、300 kg/hm²。施磷量为100 kg/hm²,施钾量为120 kg/hm²。施肥种类为尿素(N, ≥46.4%)、磷肥为过磷酸钙(P₂O₅, ≥12%)、钾肥为氯化钾(K₂O, ≥60%)。施肥方式为播种前肥料混匀后一次性均匀撒施在地表作基肥施入,然后旋耕混匀,玉米生育期不再追肥。玉米种植密度为65 000株/hm²。每个氮肥处理3次重复,小区面积为7 m×4.8 m,每个小区种8行。试验于2019年和2020年进行,玉米品种为郑单958。2019年4月28日播种,由于气候干旱于第二天进行喷灌。2020年5月2日播种,未进行灌溉。播种后不打除草剂。杂草调查完之后,于玉米V5期喷洒除草剂。

1.3 研究方法

1.3.1 调查取样方法

杂草指标的测定:在玉米V3期进行田间杂草调查,采用0.5 m×0.5 m样方,每个小区随机选3点进行取样,对杂草的种类、密度进行调查。2020年样本中的所有杂草都被切碎,按种类分类、计数,并进行

鲜重称量。

田间密度=∑某种杂草在所调查各样方的密度(株/m²)/调查总样方数。

地上部生物量的测定:在玉米V8期进行玉米地上部生物量的测定,每个小区取连续3株玉米,用闸刀将样品剪碎后先在105℃中杀青30 min,在75℃下烘干至恒重,称量干重。收获期产量的测定:每个小区保留中间3行作为测产区域,测产面积为12.6 m²。产量换算成14%标准含水量。

1.3.2 数据处理与分析

对各处理的杂草种类、密度和生物量和植株地上部生物量和产量进行计算,采用Microsoft Excel 2017软件对数据进行处理和作图,采用SPSS软件(SPSS Statistics 18.0)进行ANOVA单因素方差分析和显著性检验(独立样本t检验)。

2 结果与分析

2.1 玉米田杂草群落组成

本研究条件下,2019年发现7科共9种主要杂草。禾本科包括水稗草 *Echinochloa oryzoides*、马唐 *Digitaria sanguinalis*; 藜科包括藜 *Chenopodium album*、地肤 *Kochia scoparia(L.) Schrad*; 鸭趾草科包括

鸭趾草 *Commelina communis*; 锦葵科包括苘麻 *Abutilon theophrasti*; 菊科包括苣荬菜 *Sonchus arvensis*; 马齿苋科包括马齿苋 *Portulaca oleracea*; 苋科包括苋菜 *Amaranthus tricolor* (表2)。2020年发现4科共5种主要杂草, 即水稗草、马唐、藜、鸭趾草、苘麻。禾水稗

草和马唐属于禾本科杂草, 其他杂草均属于阔叶杂草。两年试验, 6个氮水平下的各类杂草密度均为水稗草的密度最大, 施氮量为 60 kg/hm² 时水稗草的密度最大。

表2 氮肥施用量对玉米田杂草群落组成的影响

Table 2 Weed species in maize fields as affected by different N application rates

年份 Year	氮水平 (kg/hm ²) N level	密度(株/m ²) Density									
		水稗草	马唐	鸭趾草	灰菜	地肤	苣荬菜	苘麻	马齿苋	苋菜	总密度
2019	0	676	11.0	1.0	2.3	0	0	2.7	0	0	693 a
	60	828	21.7	1.7	3.7	0.3	0	0.7	0	0	856 a
	120	191	28.0	0	0.7	0	0.3	1.0	0.3	0	222 b
	180	151	7.3	0	2.3	0.3	0	0	0	0.3	161 b
	240	51	9.7	0	5.7	0.7	0.3	0	0	0	68 b
	300	65	2.7	0	1.3	0.3	0	0.3	0	0	70 b
2020	0	585	6.7	0	0	-	-	1.3	-	-	593 a
	60	622	3.1	0	1.8	-	-	0.4	-	-	627 a
	120	187	2.7	1.3	0	-	-	0	-	-	191 b
	180	35	4.4	0	0.9	-	-	0.4	-	-	40 b
	240	16	4.0	0	0.4	-	-	0.9	-	-	21 b
	300	23	0	0	0	-	-	0	-	-	23 b

注: 不同小写字母表明差异显著 ($P < 0.05$); - 表示没有发现该杂草。下表同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$); -, No weed was found. The same below.

2.2 玉米田杂草密度

由表3可以看出, 在两年试验中, 不同施氮量对玉米杂草总密度的影响差异较大, 随着施氮量的增加, 杂草总密度呈先增加后降低的趋势, 在 60 kg/hm² 施氮量时均达到最大值。随施氮量增加, 杂草密度

开始下降, 在 180 kg/hm² 施氮量时达到最小值。进一步增加施肥量, 对杂草密度无显著影响。与施氮量为 60 kg/hm² 相比, 2019 和 2020 年优化施肥 (180 kg/hm²) 处理的总杂草密度分别降低 81% 和 94%。

表3 氮肥施用量对玉米田两种类型杂草密度的影响

Table 3 Density of two-type weeds in maize field as affected by different nitrogen application rates

株/m²

氮水平 (kg/hm ²) N level	2019年			2020年		
	禾本科 Gramineae	非禾本科 Non-Gramineae	总杂草 Total weeds	禾本科 Gramineae	非禾本科 Non-Gramineae	总杂草 Total weeds
0	687 b	6 a	693 a	592 a	1 a	593 a
60	850 a	6 a	856 a	625 a	2 a	627 a
120	219 c	3 a	222 b	189 b	1 a	191 b
180	158 c	3 a	161 b	39 b	1 a	40 b
240	61 c	7 a	68 b	20 b	1 a	21 b
300	68 c	2 a	70 b	23 b	0 a	23 b

2.3 玉米与杂草生物量的比较

不同氮肥施用量对玉米田杂草生物量的影响差异显著 (表4)。在 6 个氮肥施用量处理区内禾本科杂草的生物量为 8.6 ~ 165.5 g/m², 占杂草总生物量的

77% 以上, 300 kg/hm² 施氮量时达到了 100%; 非禾本科杂草的生物量为 0 ~ 3.4 g/m², 所占比例较低。

与不施氮相比, 施氮增加杂草生物量。在 60 kg/hm² 施氮量下, 杂草生物量达到最大。随施氮

量增加,杂草密度开始下降,在180 kg/hm²施氮量时达到最小值,降低90%。进一步增加施肥量,对杂草生物量无显著影响。这种影响主要是发生在禾本科杂草。在苗期,从不施肥到180 kg/hm²施氮量,玉米的地上部生物量增加,进一步增加施氮量降低玉米生物量。

2.4 玉米产量

不同氮肥施用量对玉米产量的影响差异显著,

随着施肥量的增加,玉米产量呈增加趋势(表5)。不同年际间,不施氮及低氮(60、120 kg/hm²)处理时的产量均显著低于优化施肥(180 kg/hm²)处理。在2018年,传统施肥(240 kg/hm²)处理的产量要显著高于优化施肥(180 kg/hm²)处理,其他3年中,180、240和300 kg/hm²施氮量间的产量无显著差异。与施氮量为60 kg/hm²相比,4年中优化施肥(180 kg/hm²)处理的产量分别增加44%、154%、53%和84%。

表4 氮肥施用量对杂草及苗期玉米生物量的影响(2020年)

Table 4 Effect of N application rate on maize seedling biomass and weed biomass

氮水平(kg/hm ²) N level	杂草生物量(g/m ²) Weed biomass			玉米干物重(g/株) Maize dry weight
	禾本科 Gramineae	非禾本科 Non-Gramineae	总杂草 Total weeds	
0	110.1 a	0.6 a	110.7 a	16 e
60	165.5 a	1.6 a	167.0 a	29 d
120	110.3 a	3.4 a	113.7 a	40 ab
180	16.7 b	0.6 a	17.3 b	42 a
240	8.6 b	2.6 a	11.2 b	36 bc
300	10.8 b	0.0 a	10.8 b	33 cd

表5 氮肥施用量对玉米产量的影响(2016~2019年)

Table 5 Effect of N application rate on maize yield

kg/hm²

氮水平(kg/hm ²) N level	2016年	2017年	2018年	2019年	平均产量 Average yield
0	6 014 d	4 954 c	3 200 e	4 556 d	4 681
60	8 622 c	5 152 c	9 026 d	6 913 c	7 428
120	11 058 b	11 308 b	11 780 c	11 535 b	11 420
180	12 409 a	13 069 a	13 774 b	12 750 a	13 000
240	12 774 a	13 210 a	14 316 a	13 096 a	13 349
300	11 524 ab	12 475 ab	13 863 b	13 297 a	12 790

3 结论与讨论

本研究中,长期施用不同用量的氮肥对春玉米田杂草种类、密度、和生物量均产生不同程度的影响。玉米田杂草主要包括两大类,一是阔叶杂草种,主要有藜、鸭趾草、苍耳、刺儿菜、苣荬菜、龙葵、反枝苋、铁苋菜等;二是禾本科杂草种,主要有稗、狗尾草、马唐等^[18]。本试验中的杂草类型总体上以水稗草、马唐、鸭趾草为主,这可能与试验田的草籽迁移及试验开始之前的土壤养分条件有关。

从土壤养分的角度分析,土壤氮、磷、钾养分含量都是影响杂草的重要因素,不同类型杂草需肥性不同,氮和钾是影响杂草种子发芽和密度的重要因素^[19-21],杂草在适应养分变化的过程中会形成不同

的优势杂草种,导致土壤中的杂草种子库有所不同。在稻麦轮作体系中,增施氮肥减少茵草、异型莎草、水虱草、萤蔺、水苋菜、陌上菜、丁香蓼的种子密度;增施磷肥减少异型莎草、水虱草、萤蔺、聚穗莎草、通泉草的种子密度^[22]。在玉米田中,止血马唐和刺儿菜最能适应土壤低磷环境,香附子最能适应低氮的土壤环境^[23]。本研究中,不施氮及少施氮(60 kg/hm²)条件下,玉米生长量较小,玉米田中的杂草群落可能主要受杂草与土壤氮素供应之间互作关系的影响。与不施氮相比,少量施用氮素(60 kg/hm²)显著增加了杂草的密度和生物量,说明适度增加土壤养分可以促进杂草的生长。不同草种对土壤养分提高的反应程度有差异。本试验中,增加最为显著的是禾本科杂草,尤其是水稗草,说明该杂草更能适

应较高的土壤氮水平,在增加土壤氮素供应条件下,成为优势杂草。

从资源竞争的角度,在施氮量 60 kg/hm²基础上,随着氮肥施用量的进一步增加,玉米的长势显著较好,玉米的生物量及玉米的产量均得到显著增加,这会加剧玉米和杂草间对资源的竞争,因而使杂草的种类、数量和生物量发生变化^[25-29]。本研究中,当施氮量增加到 120 kg/hm²时,杂草的密度和生物量开始显著下降;到 180 kg/hm²施肥量时,杂草的密度和生物量达到最低,与施氮量 60 kg/hm²时的最高值相比,杂草密度和生物量下降幅度高达 88% 和 90%。分析其中原因,可能有两个方面,一是地下资源竞争,前期玉米生长量较少,与杂草的地上部光照竞争较少,相关竞争可能是发生于地下。施氮可能通过改变玉米根系大小、构型及根分泌物,进而影响其与杂草的地下部资源相对竞争能力^[30]。根系庞大、深入土壤、分布范围广的植物竞争能力较强^[31]。田间条件下,长期充足的施氮可增加玉米根生物量。张茜^[32]研究发现,增施氮肥可增加郑单 958 根系干重、根表面积和根体积,这有助于增加其竞争能力。植物根系分泌的化感物质可能直接影响杂草的萌发与生长,也可能通过影响根际微生物,间接对杂草的发生产生影响^[33,34]。熊君等^[35]认为,低氮水平下水稻田杂草密度加大可能与根际化感作用有关。在玉米中,根系分泌物中的独角金内酯可作为信号激发杂草独角金的萌发^[36]。有研究表明,施氮水平可以显著改变玉米根系分泌物的组成,与 180 kg/hm²施氮量相比,在 153 kg/hm²施氮量下,玉米根系分泌物中的 α -葡萄糖、苹果酸、亮氨酸、缬氨酸水平显著增加^[37],因此,施氮可能通过化感作用影响杂草的生长。二是光照竞争,生长后期,当玉米群体建成以后,施氮玉米具有高大植株,其遮光作用可以显著抑制杂草的生长,作物的冠层组织可以降低光辐射、降低土壤表面的温度,从而阻止杂草的生长^[38]。杂草种子发芽需要特定的光照,不同杂草发芽所需要的 R/FR 比率(Red to far-red photo ratio)不同,有的需要较低的 R/FR 比率即可发芽,有的需要较高的 R/FR 比率。植株会选择性的吸收红光,反射远红光,玉米植株的遮光作用使杂草可获得光照的 R/FR 比率下降,进而降低杂草的萌发和生长^[39,40]。

杂草的种子可以通过风力等途径补充到土壤中,影响土壤种子数量大小,进而影响玉米田杂草的数量。土壤表面和土壤内部中具有活力的杂草种子的数量非常庞大,一般介于 0~1 000 000 粒/m² 范围,通常有 3%~7% 的种子可以萌发长成杂草幼

苗^[41,42]。在高施氮量条件下,庞大的玉米冠层不利杂草种子向土壤的散落,减少土壤中种子的数量。因而对第二年的杂草发生产生较大的抑制作用。对本研究来说,当季杂草种类及密度,也受到前期中不同的施氮量处理的综合影响。

在本研究条件下,当施氮量长期维持在 180 kg/hm²时,玉米产量达到最高,而杂草的密度和生物量也达到最低。进一步增加施氮量,玉米产量不增加,杂草的密度和生物量也不再减少。如减少施氮量,玉米产量下降,杂草的数量和生物量上升。因此,从施肥经济效益和杂草防控两个方面结合考虑,该地区最优施肥量均是 180 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 联合国粮食及农业组织. <http://www.fao.org/faostat/en/>.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. <http://www.stats.gov.cn>.
- [3] 奚振邦. 关于化肥对作物产量贡献的评估问题[J]. 磷肥与复肥, 2004, 19(3): 68-71.
Xi Z B. Evaluation of the contribution of fertilizers to crop yields[J]. Journal of Phosphate and Compound Fertilizer, 2004, 19(3): 68-71. (in Chinese)
- [4] 徐春丽, 谢军, 王珂, 等. 中国西南地区玉米产量对基础地力和施肥的响应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 129-138.
Xu C L, Xie J, Wang K, et al. The response of maize yield to inherent soil productivity and fertilizer in the southwest China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(1): 129-138. (in Chinese)
- [5] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [6] 慕立义. 植物化学保护研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [7] Kumar B, Kumar R, Kalyani S, et al. Integrated weed management studies on weed flora and yield in Kharif maize[J]. Trends in Biosciences, 2013, 6(2): 161-164.
- [8] Oad F C, Siddiqui M H, Buriro U A. Growth and yield losses in wheat due to different weed densities[J]. Asian J. Plant Sci., 2005, 6(1): 173-176.
- [9] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 1-5.
Qiang S. Current status and development strategy for weed science in China[J]. Plant Protection, 2010, 36(4): 1-5. (in Chinese)
- [10] Conn J S. Weed seed bank affected by tillage intensity for barley in Alaska[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 90: 156-161.
- [11] Huenneke L F, Hamburg S, Koide R, et al. Effects of soil resources on plant invasion and community structure in Californian serpentine grassland[J]. Ecology, 1990, 71: 478-491.
- [12] Everaarts A P. Responses of weeds to application of nitrogen, phosphorus and potassium on low fertility acid soils in Suriname[J]. Weed Research, 1992, 32(5): 385-390.
- [13] Jiang M, Zhang J. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defense system and oxidase damage in leaves of maize seedlings[J]. Plant Cell Physiology, 2010, 42(3): 1265-1273.
- [14] Ballare C L, Casal J J. Light signals perceived by crop and weed plants[J]. Field Crops Research, 2000, 67(2): 149-160.

- [15] Lehoczky E, Kismúnyoky A, Lencse T, et al. Effect of different fertilization methods and nitrogen doses on the weediness of winter wheat[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2012, 43(1-2): 341-345.
- [16] Blackshaw R E, Molnar L J, Larney F J. Fertilizer, manure and compost effects on weed growth and competition with winter wheat in western Canada[J]. *Crop Protect*, 2005, 24(11), 971-980.
- [17] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草生物多样性的影响[J]. *土壤通报*, 2005, 36(2): 77-79.
Yin L C, Cai Z C. Effects of long-term different fertilization on weed biodiversity in maize fields[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(2): 77-79. (in Chinese)
- [18] 李香菊, 王贵启, 许网保. 玉米及杂粮田杂草化学防除[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [19] Everaarts A P. Responses of weeds to application of nitrogen, phosphorus and potassium on low fertility acid soils in Suriname[J]. *Weed Research*, 1992, 32(5): 385-390.
- [20] Jiang M, Zhang J. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defense system and oxidase damage in leaves of maize seedlings[J]. *Plant Cell Physiology*, 2010, 42(3): 1265-1273.
- [21] Lourreau M, Naeem S, Inchausti P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenge[J]. *Science*, 2001, 294(5543): 804-808.
- [22] 蒋敏, 沈明星, 施林林, 等. 长期定位施肥对稻麦轮作农田土壤杂草种子库的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(3): 555-563.
Jiang M, Shen M X, Shi L L, et al. Changes in weed seed bank community of agricultural soils in rice-wheat rotation field due to long-term fertilization[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(3): 555-563. (in Chinese)
- [23] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田杂草种群组成的影响[J]. *土壤*, 2005, 37(1): 56-60.
Yin L C, Cai Z C. Effects of long-term different fertilization on composition of weed communities in maize field[J]. *Soils*, 2005, 37(1): 56-60. (in Chinese)
- [24] 王能伟, 葛秀丽, 李升东. 耕作和养分管理方式对冬小麦-夏玉米轮作农田春季杂草群落的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 871-876.
Wang N W, Ge X L, Li S D. Effects of tillage and nutrient management on weed communities in winter wheat-summer maize rotation fields in spring[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(3): 871-876. (in Chinese)
- [25] Kandasamy O S, Bayan H C, Santhy P, et al. Long-term effects of fertilizer application and three crop rotations on changes in the weed species in the 68th cropping(after 26 years)[J]. *Acta Agronomica Hungarica*, 2000, 48(2): 149-154.
- [26] Yin L C, Cai Z C, Zhong W H. Changes in weed community diversity of maize crops due to long-term fertilization[J]. *Crop Protection*, 2006, 25(9): 910-914.
- [27] 汤雷雷, 万开元, 陈防. 养分管理与农田杂草生物多样性和遗传进化的关系研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1744-1749.
Tang L L, Wan K Y, Chen F. Advances in studies on the relationship between nutrient management and the biodiversity and genetic evolution of weeds in farmland[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(7): 1744-1749. (in Chinese)
- [28] Blackshaw R E, Semach G, Janzen H H. Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat[J]. *Weed Science*, 2002, 50(5): 634-641.
- [29] Blackshaw R E, Molnar L J, Janzen H H. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat[J]. *Weed Science*, 2004, 52(4): 614-622.
- [30] 胡冀宁, 孙备, 李建东, 等. 植物竞争及在杂草科学中的应用[J]. *作物杂志*, 2007(2): 12-15.
Hu J N, Sun B, Li J D, et al. Plant competition and its application in weed science[J]. *Crops*, 2007(2): 12-15. (in Chinese)
- [31] Chen W, Xue L. Root interactions: competition and facilitation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1243-1251.
- [32] 张茜. 施氮对不同品种玉米叶片酶活性、根系特征及产量的影响[D]. 吉林农业大学, 2018.
- [33] Baziramakenga R, Leroux G D, Simard R R. Effects of benzoic and cinnamic acids on membrane permeability of soybean roots[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21(9): 1271-1285.
- [34] Li Y R. The biochemical interaction of plant[J]. *Soils*, 1993, 25(5): 248-251.
- [35] Xiong J, Lin W X, Zhou J J, et al. Allelopathy and resources competition of rice under different nitrogen supplies[J]. *China Journal of Application Ecology*, 2005, 16(5): 885-889.
- [36] 王树起, 韩晓增, 乔云发. 根系分泌物的化感作用及其对土壤微生物的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(6): 1219-1226.
Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F. Allelopathy of root exudates and its effect on soil microorganisms[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(6): 1219-1226. (in Chinese)
- [37] 彭钰洁, 程楠, 李佳佳, 等. 氮肥减施对玉米幼苗根系分泌物影响的根际代谢组学分析[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(6): 807-814.
Peng Y J, Cheng N, Li J J, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction on root exudates of maize seedling analyzed by rhizosphere metabonomic[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(6): 807-814. (in Chinese)
- [38] Mason H E, Navabi A, Frick B L, et al. The weed-competitive ability of Canada western red spring wheat cultivars grown under organic management[J]. *Crop Science*, 2007, 47(3): 1167-1176.
- [39] Andreasen C, Skovgaard I M. Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 133(1-2): 61-67.
- [40] Ballare C L, Casal J J. Light signals perceived by crop and weed plants[J]. *Field Crops Research*, 2000, 67(2): 149-160.
- [41] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 土壤杂草种子库与杂草综合管理[J]. *土壤*, 2005, 37(2): 121-128.
Wei S H, Qiang S, Ma B, et al. Integrated management of soil weed seed bank and weeds[J]. *Soils*, 2005, 37(2): 121-128. (in Chinese)
- [42] Zhang J, Hamill A S, Gardiner I O, et al. Dependence of weed flora on the active soil seedbank[J]. *Weed Research*, 1998, 38(2): 143-152.

(责任编辑:姜媛媛)