

# 杂草的价值及防控技术研究进展

王树昌<sup>1</sup>, 吕勇<sup>2</sup>, 于晓玲<sup>1\*</sup>

(1. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南海口 571101; 2. 北京市农林科学院草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

**摘要** 介绍了杂草的危害, 综述了杂草的食用价值、药用价值、生态学效益及经济价值, 分析了物理、化学除草以及生物防治等杂草控制技术, 并展望了杂草防控技术今后的研究方向。

**关键词** 杂草; 利用价值; 杂草防控; 化感作用

中图分类号 S451 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)36-0149-05

## Advances in Weeds Utilization and Control Technology

WANG Shu-chang<sup>1</sup>, LÜ Yong<sup>2</sup>, YU Xiao-ling<sup>1\*</sup> (1. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Haikou, Hainan 571101; 2. Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097)

**Abstract** We introduced the damage of weed, summarized certain edible or medicinal value, ecological benefit and economic value under rational exploitation, analyzed the traditional means of physical and chemical weed control as well as biology means, and put forward the research direction in weed control technology.

**Key words** Weed; Use value; Weed control; Allelopathy

杂草是伴随着人类的生产活动而产生的, 是长期适应气候、土壤、作物、耕作制度、社会因素与栽培作物竞争的结果<sup>[1]</sup>。杂草群落的大小、结构组成特点及动态变化导致其不同的危害情况<sup>[2-3]</sup>。杂草虽大多对农田危害甚多, 但若合理开发, 许多杂草还具有一定的食用价值、药用价值、生态学效益及经济价值。目前对有害杂草的有效控制仍然是农业生产过程中有待解决的一大难题, 结合传统物理、化学除草手段, 利用植物的化感作用等生物学手段有效控制杂草, 是一项对环境友好型的措施, 对可持续农业的发展具有重大作用。笔者综述了杂草的价值及防控技术研究进展, 以期对杂草防除研究提供参考。

## 1 杂草及其危害

**1.1 杂草** 杂草是一类在人类活动与自然环境双重选择下产生的高度进化的植物类群, 其生物量大、抗逆性强、生长迅速<sup>[4-6]</sup>, 大部分杂草兼有有性和无性繁殖方式, 能在很短时间内完成其生长周期。杂草的种子具有顽强的生命力。杂草种子寿命相当长, 如藜 (*Chenopodium album*) 种子可存活 1 700 多年, 繁缕 (*Stellaria media*) 种子能存活 622 年, 且它们能在较宽的条件范围内萌发。绝大部分杂草的种子单株产籽量高、小且轻、易于传播, 且常与栽培植物伴生<sup>[4]</sup>, 不易防控。

杂草种类繁多, 全世界约有 5 万种, 其中农田杂草 8 000 多种<sup>[5]</sup>, 主要粮食作物危害杂草约 250 种。在这 250 多种主要危害杂草中又有 76 种农田杂草危害较为严重, 其中危害很严重的有香附子 (*Cyperus rotundus*)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、马齿苋 (*Callitriche stagnalis*)、两耳草 (*Paspalum conjugatum*)、狗牙根 (*Cynodon*

*dactylon*) 等 18 种杂草<sup>[6]</sup>。在我国农田杂草约 704 种, 主要危害杂草有 60 多种, 常见杂草如稗草 (*Echinochloa crusgali*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、牛筋草 (*Eleusine indica*)、铁苋菜 (*Acalypha australis*) 等<sup>[5-6]</sup>。

**1.2 杂草的危害** 杂草一直以来被视为有害之草<sup>[4,7]</sup>、农业生产的大敌<sup>[8]</sup>。杂草对人类大多数农业生产过程造成多种危害, 它与作物争取有限的土壤肥力与光照<sup>[9]</sup>, 具有强烈抑制作物生长发育的作用, 有时还会助长病虫害的发生和蔓延<sup>[4-6]</sup>。杂草生物量大、抗逆性强、生长迅速, 会成片或零星地分布于草坪、林下, 不仅影响美观, 还抢占空间、养料、阳光和水分<sup>[9]</sup>。杂草庞大的根系不仅与作物争夺空间, 还与作物争光、争水肥, 对作物产量影响非常大<sup>[10]</sup>, 是常见影响农牧业生产的危害之一<sup>[11]</sup>。杂草的生长为农作物病虫害的发生提供了生境条件, 成为病虫害的主要传播媒介和寄主, 有利于病虫害的发生和蔓延, 致使农作物减产<sup>[12]</sup>。在当季作物耕种过程中, 病虫害以密集生长的杂草为媒介在农田间快速蔓延, 使作物严重减产。另外, 许多虫害栖息于杂草上过冬, 并在其上产卵繁殖, 次年侵染新耕农作物。杂草是有些病原菌的转主寄主, 病原菌是通过杂草转染作物的, 如小檗是小麦秆锈病的转主寄主, 该病在为害小麦之前侵染小檗<sup>[12-13]</sup>。

农田中杂草的种群结构、比例以及危害的现状会随着土壤环境、气候环境、耕作方式、栽培措施以及除草剂使用状况的变化而不断地变化<sup>[14-16]</sup>。杂草与作物竞争结果的突出表现就是作物减产, 成为农业生产主要限制因素之一。针对杂草危害的现状, 科研工作者针对杂草对水稻、玉米、小麦等主要经济作物产量影响的研究较多<sup>[17]</sup>。

在小麦生产过程中, 杂草主要通过竞争性、降低小麦单位面积有效穗的数量来降低小麦产量。我国麦田的杂草危害面积占种植面积的 30% 左右, 其中危害较为严重的面积占 8% 以上, 小麦产量每年因受杂草危害而造成的损失在 15%

**作者简介** 王树昌 (1976—), 男, 山东滨州人, 副研究员, 博士, 从事生物技术研究。\* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事农业生物技术研究。

**收稿日期** 2017-11-12

以上,高达150万t<sup>[18]</sup>。稻田中,杂草不仅与水稻争光、争水、争营养物质等,也是许多病虫害的寄主和栖息场所,给水稻生产造成了严重损失<sup>[19]</sup>。研究表明,当杂草密度为20~30株/m<sup>2</sup>时可使水稻产量损失高达60%<sup>[19-20]</sup>。杂草危害成为影响水稻产量的主要因素之一,恰当地防治以及合理地控制稻田的杂草成为水稻生产工作中的重中之重<sup>[20]</sup>。杂草与油菜竞争水肥、生存空间、传播病虫害,造成油菜籽粒的品质低劣、严重减产<sup>[17]</sup>。

## 2 杂草的利用价值

随着现代生物科学的发展与自然资源可持续利用观念的增强,人们逐渐认识到杂草的利用价值。如果管理得当,杂草可以起到防风固沙、保水肥土<sup>[4,7]</sup>的效果,并有利于保护物种多样性与生境多样性。杂草可作为一种潜在的生物资源,亦可用作经济作物,如泽漆(*Euphorbia helioscopia*)<sup>[4]</sup>,有的可以直接食用,如蕺菜(*Houttuynia cordata*)。杂草潜藏着巨大的利用价值,是不可或缺的自然资源。

### 2.1 杂草的生态效益

**2.1.1 杂草的固土护坡效益。**具有强大根系的杂草具有固定土壤、减少水土流失;减少田间空地漏光面,加强光能利用率;增加土壤有机质,不断完善土壤理化生物性状;加强食物链的紧密性、多样性;防止生态网络间断等重要作用<sup>[21-22]</sup>。尤其在固土方面,如马唐、狗牙根等<sup>[23]</sup>杂草具有茂密的匍匐茎以及庞大的根网,不仅固土作用十分显著而且还能提高土体有机质含量。其机制为:多数杂草的生长范围较为宽广,发达的根系延伸至土壤深层,利用根系分泌出的有机酸可将深层土壤的无效养分活化运输至地表,从而增加土壤有机质含量<sup>[21-22]</sup>。此外,杂草根系通过与土壤的缠绕作用达到稳定土体结构,从而加强土壤抗冲蚀的能力,同时杂草茎叶也起到一定的水文效应,护坡效果十分明显<sup>[24]</sup>。

**2.1.2 杂草的净化效益。**杂草具有良好的净化空气的能力。国内外大量研究表明,杂草具有净化空气的能力,能散发自然的清香,是天然的空气清新剂<sup>[25]</sup>。而就生态学而言,杂草叶片有吸收二氧化硫、二氧化碳等致污染废气,释放氧气的能力,并能够吸滞空气中漂浮的烟灰和粉尘,减少空气中的细菌数量<sup>[1,21-22]</sup>。杂草除了对空气中的有害气体有净化作用外,对水体中的重金属离子等小分子污染物也有较明显的祛除作用<sup>[26-27]</sup>,在水土改良等方面具有一定的生态效益。

**2.1.3 杂草的防治病虫害作用。**杂草对农作物的生长有着直接的抑制作用,可导致农作物减产。但杂草并非都有利于病虫害发生,许多杂草也有抑制病虫害的作用。

研究发现,在有些杂草丰富的农田中,害虫暴发的可能性远低于杂草少的农田。其原因是农田杂草不仅能为虫害的天敌提供补充营养,而且具有诱集、化学驱避以及屏蔽的功效,从而提高了害虫天敌的存活率和繁殖率,使田间害虫天敌的种群密度得到提高,为控制虫害奠定了基础<sup>[28]</sup>。例如,禾本科杂草,尤其是稗草、千金子和马唐等,因其适合于稻飞虱的产卵而寄生有大量的寄生蜂;盛花期的莎草则吸引

了许多成蜂<sup>[29]</sup>。此外,Wyss<sup>[30]</sup>研究发现苹果园内果树行间保留1m宽的人工杂草带,蚜虫的天敌数量明显增加,在保留杂草带的试验区,蚜虫的数量与对照区(无杂草带,使用杀虫6~8次)无显著差异。

**2.2 杂草的食用价值**《中国农田杂草》<sup>[31]</sup>杂草名录中记载的615种杂草中有54种以“菜”命名,如蕺菜(*Houttuynia cordata*)、遏蓝菜(*Thlaspi arvense*)、萍菜(*Rorip paidnica*)、芥菜(*Brassica juncea*)、蕨菜(*Pteridium aquilinum*)、龙须菜(*Asparagus schoberioides*)、莼菜(*Brasenia schreberi*)、薄片变豆菜(*Sanicula lamelligera*)、铁苋菜(*Acalypha australis*)、水苋菜(*Ammannia baccifera*)、芥菜(*Capsella bursa-pastoris*)等。《本草纲目》<sup>[32]</sup>和《农政全书》<sup>[33]</sup>两本著作中都将蕺菜、遏蓝菜、萍菜、芥菜、蕨菜等命名为“救荒草本”,在食不果腹的年代,这些“救荒草本”曾作为救命稻草使得无数生命得以保全。自古以来我国就有将野生芥菜作为食物的记载,最早可追溯至公元前300年<sup>[34]</sup>。目前,这些杂草中仍有部分杂草在一些地区被当作食物食用,它们不但美味可口,而且还含有较高的营养价值和突出的药用功效。例如,原产地在中国的芥菜因为其独特的口感成为人们喜爱的野菜之一;苋菜中富含大量的蛋白质,尤其是较小麦和玉米都要高赖氨酸含量,是古代印第安人的主要食物之一。另外,甘草、野菊花、白花碎米芥、达乌里胡枝子等提取物口感清香,被作为饮料型的植物<sup>[1]</sup>。

**2.3 杂草的药用价值**在中医药方中,杂草是其中重要的组成部分。例如,具有养五脏、益气力、聪明耳目功能的泽泻,具有治胃腹胀痛、抗菌、理气、调经等功效的香附子,具有利尿、外用能消肿的益母草,有着治疗高血压病作用的猪毛菜,根含有大量的糖甙并有抗癌功效的苍耳,具有滋补强壮功能的列当根及菟丝子种子,都属于杂草行列<sup>[1]</sup>。另外,马唐、车前、王不留行、茜草、茵陈蒿、马齿苋、曼陀罗、狗尾草、芦苇、苣荬菜、水蓼、鸭趾草、打碗花、龙葵、画眉草等都是常见的中药材<sup>[35]</sup>。

《中国农田杂草》<sup>[31]</sup>杂草名录中记载着大量含有药用价值以及保健功能的杂草,如已被我国卫生部定为既能作为食品食用又能作为药品的保健食品之一的马齿苋,具有清热去火、解毒消肿、止渴、消炎、利尿等功效,并且富含脂肪酸及维生素等,其中脂肪酸是形成细胞膜特别是脑细胞膜与眼细胞膜所不可或缺的物质之一;蒲公英具有利尿的作用,富含胡萝卜素、维生素、矿物质等,能改善消化不良、便秘等症状,叶子具有治疗湿疹、缓解皮肤炎、关节疼痛的净血作用,根能起到消炎的功效,还能治疗胆结石、风湿等疾病。除此之外,点地梅具有治疗扁桃体炎的作用;喉炎、百日咳、夜盲症的作用。地锦草能治疗痢疾、肠炎、尿血、便血、疖肿。加拿大一枝黄花具有治疗感冒、急性喉炎、扁桃腺炎的作用;车前具有利尿、明目、咳嗽祛痰的功效,而且还能治疗尿路感染。刺儿菜具有止血祛痕的作用;泽漆则可消肿、轻身、治疗热咳嗽等;牛膝能清凉解毒、活血喉咽等<sup>[34-35]</sup>。可见,杂草的药用价值较高。

**2.4 杂草可作为生物质能源植物** 柳枝稷 (*Panicum virgatum*)<sup>[36-37]</sup>、芦竹 (*Arundo donax*)<sup>[37]</sup>、荻 (*Miscanthus sachariflorus*)<sup>[37-38]</sup>、芒 (*Miscanthus snensis*)<sup>[38-39]</sup>、奇岗 (*Miscanthus × giganteus*)<sup>[39]</sup>、杂交狼尾草 (*Pennisetum americanum × P. purpureum*)<sup>[40]</sup> 等木质纤维素草本植物由于具有:生长迅速,生物量高,一次种植可长期(10年以上)受益,一般每年能长出1~2茬草;抗逆性、适应性较强,可在边际土地种植,不与粮争地等特性,是优良的能源植物。杂草作为能源植物,不仅可制备纤维素乙醇,还可以广泛应用于生物质直燃或气化发电厂、气化炉、固化成型和热解等各种生物质能源转化与利用,具有多方面的生态效益和经济效益<sup>[41]</sup>。

### 3 杂草控制技术研究进展

**3.1 传统的防控技术** 针对杂草防控,传统的方法包括物理防治和化学防治。

物理防治杂草技术<sup>[6]</sup>是指传统的利用人工徒手拔草或利用锄、犁、耙等工具除草,机械除草以及各种农业栽培技术措施来防治杂草。人工除草效果好,目前仍然是部分地区农业生产中主要除草方式之一<sup>[42]</sup>,但该技术落后、工作效率低,需要的人力消耗较大,不适于大面积防除。利用覆盖物防除杂草,即通过覆盖形式防止光透入,抑制杂草的光合作用,从而导致杂草幼苗死亡,一般用于作物行间盖膜及果树树干周围<sup>[43]</sup>。这种方式可以有效地防控杂草的滋生蔓延,但不足之处是容易产生“白色污染”,盖膜所用的膜是不可回收使用、大多比较难降解,长此以往可造成严重的污染。总之,在农业劳动力富集地区,杂草的物理防治方法较有效,但严重浪费劳动力,不利于现代化农业的发展,达不到可持续发展的目的<sup>[1]</sup>。

化学防治技术是指通过喷施化学药剂(除草剂)进行杂草防治的方法。除草剂在欧美等国家得到广泛应用可追溯至20世纪50年代到20世纪60年代<sup>[1]</sup>,是目前农业生产中常用的除草方式。除草剂的使用实现了大面积快速的除草操作,推动了农业生产的发展,获得了巨大的经济效益和社会效益。但同时在除草剂的应用过程中也出现了许多问题<sup>[1]</sup>,如除草剂的过量使用导致杂草抗药性的逐步增强、杂草群落发生明显改变、除草剂降解产物对作物产生一系列危害、水土侵蚀等一系列潜在的问题<sup>[43]</sup>。长期施用除草剂,在有效去除杂草的同时,也破坏了生物链,造成部分生物灭绝,同时还存在环境污染、农药残留等弊端。因此,一直使用化学技术除草会对环境造成不可逆转的危害。

**3.2 生物防治技术** 采用生物防治杂草是利用寄主范围较为专一的植食性动物或植物病原微生物,将有害杂草种群控制在经济、生态环境容许的水平<sup>[1]</sup>。应用天敌昆虫防除农田杂草,如香附子、扁秆鹿草、鸭跖草、槐叶萍等,已取得成功经验并且具有巨大的发展潜力<sup>[44-45]</sup>。在农田中用鹅、鸭取食禾草,稻田养鱼、鸭等,被应用于防控水生杂草取得了一定的进展<sup>[46]</sup>。生物除草具有一定的局限性<sup>[1]</sup>。例如,除草谱窄,一种生物只能防治一两种特定的杂草;成效慢,一般需数年才能取得较好的防控效果;除草效果受气候等环境因子的影

响较大。因此,该方法的推广是长期可持续发展的除草策略之一。

**3.3 利用植物种间竞争防控技术** 可用资源的竞争是植物体之间直接或间接的负相互作用。当植物共享同一种资源时,就会存在程度不一的竞争,从生态学角度来看,只要生态位相近或发生重叠,竞争就会发生<sup>[47]</sup>。竞争可以发生在同种植物的不同个体之间(种内竞争)或异种植物之间(种间竞争),植物的生态位需求越接近,竞争越激烈<sup>[48]</sup>。植物竞争过程中的可塑性、大小不同个体的非对称竞争、地下竞争和地上竞争的差异、植物的空间分布和资源的异质性等影响着竞争结果<sup>[48-49]</sup>。

杂草与作物的竞争主要集中在光照、水分和营养物质3个方面,杂草通过影响作物的叶片受光面积、单位面积的水肥吸收率等来影响作物干物质积累,最终表现为产量性状指标降低从而导致作物减产<sup>[47]</sup>。杂草竞争作用使得水稻(*Oryza sativa*)减产15%以上<sup>[48-49]</sup>。杂草与作物之间的竞争存在一个临界期,即杂草与作物存在一段竞争最剧烈、最关键的时期<sup>[1,47,50]</sup>。因此,农业生产过程中,杂草竞争临界期时可以选择比杂草竞争力强、生长快速的植物与杂草竞争水肥、光等必需的营养物质,如高大的品种罗德尼燕麦,与短茎作物相比,该品种对杂草的竞争力非常强,可有效抑制杂草的生长<sup>[42]</sup>。

**3.4 利用植物化感作用防控杂草** 化感作用指植物通过特定方式(如淋溶、挥发、残体分解和根系分泌等)向环境释放化学物质,从而对其周围其他植物造成直接或间接的、有害或有利的作用<sup>[47,50-52]</sup>。植物利用化感作用来消灭竞争对手或天敌,以维持或维护对自身有利的生态环境<sup>[53-54]</sup>。农田杂草治理过程中,常将化感作用应用于作物轮作、作物覆盖、秸秆覆盖等农业耕作栽培措施中<sup>[55]</sup>。邵华等<sup>[56]</sup>研究表明,薇甘菊提取物对水稻、萝卜、黄瓜、菜心均呈现出不同程度的化感作用,总体上表现为“低促高抑”。王栋等<sup>[57]</sup>研究发现蒙山莠苣的根、茎、叶浸提液对4种草籽(校园高羊茅、高羊茅千年盛世、一年生黑麦草蓝天堂、多年生黑麦草球道)的萌发呈现出的化感作用程度各不相同,总体趋势表现为茎>叶>根,茎的浸提液抑制作用最明显,萌发抑制率在49.02%~70.83%。

植物化感物质是植物长期进化选择的产物,是纯天然的除草剂,不会对环境产生不利的影响,可作为未来应用于农业生产中的极具开发利用价值的环保型农药<sup>[53,58]</sup>。将植物化感作用应用于农业杂草防控,目前已经取得一定进展。例如,在资源竞争一致的条件下,利用田间抑草圈来评价水稻种质资源的化感作用的研究表明,部分水稻品质对几种杂草都具有化感作用<sup>[59]</sup>;针对水稻在不同生态条件下对稻田单一杂草的干扰控制作用机制的研究较多,拥有化感作用的水稻品种对稗草(*Echinochloa crusgalli*)等田间杂草生长具有一定的化感抑制作用<sup>[60-61]</sup>;利用存在化感作用现象的水稻植株残体对杂草的抑制效果,较好地控制水稻生长前期产生的杂草量,从而达到减量使用化学除草剂的作用<sup>[62]</sup>。

## 4 展望

农田中的杂草与农作物竞争有限的环境资源,从而导致农作物严重减产;杂草籽粒会掺杂谷粒中,从而严重影响谷物质;有毒杂草还会危害人类健康<sup>[63]</sup>。有些杂草还是作物病虫害的主要寄主,从而间接增加了田间管理的难度<sup>[64]</sup>。随着生产力的发展,农业可持续发展观念逐步增强,如何合理应用杂草资源,同时达到安全、高效地防控有害杂草的目的成为农业生产的重要课题。

我国有很多边际区域,这些区域土壤由于养分贫瘠、盐超标或降水稀少的原因,大多经济作物无法生长,造成土地浪费甚至坡地的土壤流失。杂草由于其发达的根系、强大的抗逆能力在这些区域均可生长。经济效益好的木质纤维素草本<sup>[36-40]</sup>是这些地区优良的候选植被。它们多是多年生高大、丛生的草本或半灌木<sup>[65]</sup>,可以通过竞争机制有效地防控其他有害杂草的滋生;其庞大的根系也起到有效的固土作用<sup>[7]</sup>,对边际土地的物种多样性和生境多样性保护具有极其重要的作用。

在有害杂草的防控方面,人工除草虽效果好,但造成农业生产成本激增。覆膜等物理除草方式较人工除草效果高,但大面积使用具有浪费资源、增加“白色污染”的缺点。过量使用除草剂产生很多负面作用<sup>[66]</sup>。例如,导致水、空气和土壤污染,对生态环境造成了诸多不良影响;使杂草抗药性增强;对当茬或后茬作物的药物毒害以及除草剂在作物中的化学残留对人类健康造成危害。为解决传统除草方式的弊端,科学家从植物自身理化性质角度进行研究,发现利用作物的资源利用性竞争优势和植物化感作用对开展生态安全条件下杂草防控是有效的<sup>[67]</sup>。植物由于自身分泌释放的化感物质的植物化感抑草方式具有剂量小、选择性强、无“3R”问题等优点,成为21世纪可持续农业发展的关键生物技术之一<sup>[68-69]</sup>。开采和选用作物自身抑制杂草的化感能力有利于实现可持续的杂草防治策略,并可大量减少除草剂的使用<sup>[70]</sup>。这种防控措施可利用植物在生态系统中的自身防御系统或者抗逆能力,不会对生态系统释放及施用难降解的化学物质,不会引发农药残留等一系列的环境问题,因此,利用化感作用控制田间杂草是农业可持续发展的极具潜力的杂草控制措施之一<sup>[71]</sup>。

纵观杂草的物理、化学、生物防控的利弊,单一应用某一种防控手段,或是造成劳动力浪费,或是造成环境污染,或是需要若干年的周期才能达到杂草防控的目的,效益都不理想。针对作物和杂草的发育周期,生物防控配合传统的除草手段,合理综合地利用各种防控手段,可以减少农药的使用量,有利于保护土壤的物种多样性与生境多样性,对农业可持续发展具有重大作用。

## 参考文献

[1] 夏国军,李雪峰. 杂草的特征·防治及利用[J]. 安徽农业学报, 2007, 35(34): 11134-11136.  
 [2] CARDINA J, HERMS C P, DOOHAN D J. Crop rotation and tillage system effects on weed seed banks[J]. Weed science, 2002, 50(4): 448-460.  
 [3] BÁRBERI P, CASCIO B L. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seed bank size and composition[J]. Weed research, 2001, 41(4): 325

-340.  
 [4] 张无敌,刘士清. 有害杂草的利用观[J]. 生命科学, 1995, 7(1): 30-33.  
 [5] 张宇阳,王军峰,沙志鹏,等. “农牧一体化”下玉米田杂草多样性及玉米生长状况[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2014, 40(6): 638-646.  
 [6] 张朝贤. 我国农田杂草发生概况及防除对策[C]//中国科协年会论文集(下册). 北京:中国农业科技出版社, 2006: 113-118.  
 [7] 陈欣,唐建军,赵惠明,等. 农业生态系统中杂草资源的可持续利用[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 340-346.  
 [8] 毛文华,张银桥,王辉,等. 杂草信息实时获取技术与设备研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 190-195.  
 [9] 林忠英,王云,彭佳,等. 常德市园林绿地越冬杂草危害及防除利用的研究[J]. 杂草科学, 2007(4): 21-26.  
 [10] 李文学. 张家川县杂草发生危害情况及防治对策[J]. 农业科技与信息, 2015(13): 25, 31.  
 [11] 李秋林,蒲晓斌. 如何搞好小春作物的化学除草[J]. 四川农业科技, 2011(1): 38.  
 [12] 郭琼霞,黄可辉. 危险性病虫害与杂草[J]. 武夷科学, 2003, 19(1): 179-189.  
 [13] 赵阿娟,李宏光,杨虹琦,等. 粘壤麦茬玉米免耕制的变化[J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2178-2183.  
 [14] 何永福,陆德清,叶照春,等. 贵州省稻茬免耕油菜田杂草的发生情况[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(3): 65-68.  
 [15] 施守华. 安徽省广德县油菜田杂草发生规律及危害现状调查[J]. 杂草科学, 2012, 30(1): 51-52.  
 [16] 李聪,周鑫. 楚州区油菜田杂草发生规律及防除技术[J]. 现代农业科技, 2010(20): 206, 208.  
 [17] 周小刚,朱建义,梁帝允,等. 不同种类杂草危害对油菜产量的影响[J]. 杂草科学, 2014, 32(1): 30-33.  
 [18] 李涛,温广月,钱振官,等. 不同类型杂草危害对小麦产量的影响[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(4): 28-29.  
 [19] 岳茂峰,冯莉,田兴山,等. 不同种类杂草危害对水稻产量影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(13): 98-99, 109.  
 [20] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. Canadian entomologist, 1959, 91(7): 385-398.  
 [21] 王义林,许玮,熊水华,等. 杂草在园林中应用可行性初探[J]. 现代园艺, 2012(3): 57-59.  
 [22] 侯松青. 从生态学角度浅谈杂草防除[J]. 价值工程, 2010, 29(21): 242.  
 [23] 王清奎,张志国,荆延德. 优良固土护坡植物:狗牙根的建植与管理技术[J]. 福建水土保持, 2001, 13(3): 32-33.  
 [24] 宋云. 植物固土边坡稳定基本原理的研究以及固坡植物的选择设计[D]. 长沙:中南林学院, 2005: 1-6.  
 [25] 王佳佳,施冰,刘晓东,等. 3种木本植物对室内空气净化能力的研究[J]. 北方园艺, 2007(11): 142-143.  
 [26] 孔慧娜. 论园林植物对城市空气的净化作用[J]. 科技资讯, 2009(17): 151.  
 [27] 侯新村,范希峰,武菊英,等. 草本能源植物修复重金属污染土壤的潜力[J]. 中国草地学报, 2012, 34(1): 59-64, 76.  
 [28] 朱有勇,李成云,李正跃,等. 农业生物多样性控制病虫害发展研究[D]//2012-2013植物保护学学科发展报告. 北京:中国植物保护学会, 2014.  
 [29] 迟全元,王晓梅,吴晓云,等. 果树行间套种地被植物对天敌及害虫的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(7): 155-161.  
 [30] WYSS E. The effects of artificial weed strips on diversity and abundance of the arthropod fauna in a Swiss experimental apple orchard [J]. Agriculture, ecosystem and environment, 1996, 60(1): 47-59.  
 [31] 唐洪元. 中国农田杂草[M]. 上海:上海科技教育出版社, 1991: 79-80.  
 [32] 李时珍. 本草纲目[M]. 重庆:重庆出版社, 2006: 48-49.  
 [33] 徐光启. 农政全书[M]. 长沙:岳麓书社, 2002: 773-989.  
 [34] 田志慧,沈国辉. 杂草资源的开发与利用[J]. 上海农业学报, 2012, 28(4): 152-155.  
 [35] 夏国军. 杂草的利用价值[J]. 生物学报, 1997, 14(75): 30-31.  
 [36] SCHMER M R, VOGEL K P, MITCHELL R B, et al. Net energy of cellulosic ethanol form switchgrass[J]. PNAS, 2008, 105(2): 464-469.  
 [37] 范希峰,侯新村,左海涛,等. 三种草本能源植物在北京地区的产量和品质特性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3316-3322.  
 [38] YAN J, CHEN W L, LUO F, et al. Variability and adaptability of Miscanthus species evaluated for energy crop domestication[J]. GCB bioenergy, 2012, 4(1): 49-60.

- [39] NISHIWAKI A, MIZUGUTI A, KUWABARA S, et al. Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan [J]. *Amer J Bot*, 2011, 98(1): 154 – 159.
- [40] 范希峰, 侯新村, 朱毅, 等. 杂交狼尾草作为能源植物的产量和品质特性 [J]. *中国草地学报*, 2012, 34(1): 48 – 52.
- [41] 谭芙蓉, 吴波, 代立春, 等. 纤维素类草本能源植物的研究现状 [J]. *应用与环境生物学报*, 2014, 20(1): 162 – 168.
- [42] 焦子伟, 张相锋, 尚天翠, 等. 国内外有机农业杂草控制技术进展 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 4(1): 1 – 7.
- [43] 朱笑坤, 鲁东飞, 柳明, 等. 杂草控制技术的发展及新型的转基因除草技术 [C] // 农药与环境安全国际会议论文集. 北京: 北京农药学会, 2005.
- [44] 强胜. 生物防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 144 – 156.
- [45] 邓欣, 万年峰, 朱亚芳, 等. 杂草生物防治现状与评估 [J]. *杂草科学*, 2006(1): 15 – 17.
- [46] 马晓渊. 加强杂草生物防治的研究和应用 [J]. *杂草科学*, 2007(3): 1 – 6.
- [47] 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.
- [48] 徐正浩, 王一平, 余柳青, 等. 水稻移栽密度和早期水管理对无芒稗生态控制效果的影响 [J]. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 41 – 43.
- [49] 王大力, 马瑞霞, 刘秀芬. 水稻化感抗草种质资源的初步研究 [J]. *中国农业科学*, 2000, 33(3): 94 – 96.
- [50] 薛立, 傅静丹. 影响植物竞争的因子 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(2): 6 – 15.
- [51] 张玉娟, 唐士明, 邵新庆, 等. 植物化感作用在草地生态系统中的研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(2): 958 – 961.
- [52] 王晓英. 刺柏叶水提液对高羊茅的化感作用及其 GC – MS [J]. *草地学报*, 2016, 24(2): 363 – 368.
- [53] 王建国, 李拥军, 郭佛杨, 等. 薇甘菊对农田常见杂草和水稻化感作用的研究 [J]. *河南农业科学*, 2013, 42(10): 88 – 90.
- [54] 郭怡卿, 陆永良. 水稻化感作用与杂草的生物防治 [J]. *中国生物防治学报*, 2015, 32(2): 157 – 165.
- [55] 李贵, 李永丰, 刘丽萍, 等. 化感作用在综合控制农田杂草中的应用前景 [C] // 中国第五届植物化感作用学术研讨会论文集. 天津: 中国植物保护学会, 2011.
- [56] 邵华, 彭少麟, 张驰, 等. 薇甘菊的化感作用研究 [J]. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 62 – 65.
- [57] 王栋, 刘平平, 马春晖, 等. 蒙山莠菪化感作用对 4 种草坪草种子萌发的影响 [J]. *杂草科学*, 2011, 29(2): 19 – 22.
- [58] 高志梅, 李拥军, 谷文祥. 青蒿化感作用的初步研究 [J]. *华南农业大学学报*, 2007, 28(1): 122 – 124.
- [59] DILLDAY R H, LIN J, YAN W. Identification of allelopathy in the USDA – ARS rice germplasm collection [J]. *Australian J Exp Agric*, 1994, 34(7): 907 – 910.
- [60] 徐正浩, 余柳青. 不同株型水稻对无芒稗的生态控制研究 [J]. *中国水稻科学*, 2000, 14(3): 125 – 128.
- [61] 李贵, 吴竟仑, 王一专, 等. 不同水稻品种抑制杂草的差异性研究 [J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(6): 669 – 672.
- [62] 徐正浩, 谢国雄, 周宇杰, 等. 不同株型和化感作用特性水稻对 3 种稻田主要杂草的干扰控制作用 [J]. *作物学报*, 2013, 39(7): 1293 – 1302.
- [63] 徐正浩, 陈再廖, 林云彪, 等. 浙江入侵生物及防治 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2011: 24 – 63.
- [64] 杨明进, 王琦, 李欣. 农田主要杂草识别与防除技术 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2009: 50 – 61.
- [65] 李平, 孙小龙, 韩建国, 等. 能源植物新看点: 草类能源植物 [J]. *中国草地学报*, 2010, 32(5): 97 – 100.
- [66] 甘国福. 除草剂土壤残留污染对后茬作物的影响及控制对策 [C] // 中国植物保护学会 2005 年农作物药害预防及控制技术研讨会. 大连: 中国植物保护学会, 2005.
- [67] 孔垂华. 植物与其它有机体的化学作用: 潜在的有害生物控制途径 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 712 – 720.
- [68] 彭学岗. 我国玉米田杂草化学防除现状及抗性防治策略 [J]. *湖北植保*, 2012(4): 62 – 64.
- [69] 王宏生. 利用化感物质防治杂草研究现状及应用前景 [C] // 中国第三届植物化感作用学术研讨会. 第八届全国杂草科学大会、联合国粮农组织—中国“水稻化感作用论坛”论文摘要集. 北京: 中国植物保护学会生物入侵分会, 2007: 33 – 36.
- [70] 程汉亭, 沈奕德, 黄乔乔, 等. 木薯对伴生杂草化感作用的初步研究 [J]. *杂草科学*, 2013, 31(2): 31 – 33, 38.
- [71] 刘迎, 王金信, 李浙江, 等. 植物化感作用在农田杂草防除中的应用 [J]. *杂草科学*, 2005(4): 6 – 9.

(上接第 134 页)

的烷烃羟化酶能氧化  $C_{12} \sim C_{16}$  的中长链烷烃。

## 参考文献

- [1] 阙兴艳, 于君宝, 王雪宏, 等. 石油污染湿地土壤生物修复研究进展 [J]. *湿地科学*, 2012, 10(2): 250 – 256.
- [2] LIU C W, LIANG M S, CHEN Y C, et al. Biodegradation of n-alkanes at high concentration and correlation to the accumulation of  $H^+$  ions in *Rhodococcus erythropolis* NTU-1 [J]. *Biochemical engineering journal*, 2012, 63(8): 124 – 128.
- [3] 王小雨, 冯江, 王静. 莫莫格湿地油田开采区土壤石油烃污染及对土壤性质的影响 [J]. *环境科学*, 2009, 30(8): 2394 – 2401.
- [4] 朱杰, 阮志勇, 董卫卫, 等. 一株高效烷烃降解菌 *Acinetobacter* sp. LAM1007 的分离鉴定及降解特性 [J]. *微生物学通报*, 2017, 44(7): 1535 – 1546.
- [5] 李永霞, 郑西来, 马艳飞. 石油污染物在土壤中的环境行为研究进展 [J]. *安全与环境工程*, 2011, 18(4): 43 – 47.
- [6] WATANABE K, KODAMA Y, SYUTSUBO K, et al. Molecular characterization of bacterial populations in petroleum-contaminated groundwater discharged from underground crude oil storage cavities [J]. *Applied & environmental microbiology*, 2000, 66(11): 4803 – 4809.
- [7] YONG N, CHI C Q, FANG H, et al. Diverse alkane hydroxylase genes in microorganisms and environments [J]. *Scientific reports*, 2014, 4(7500): 1 – 11.
- [8] JEON H J, KIM M N. Functional analysis of alkane hydroxylase system derived from *Pseudomonas aeruginosa* E7 for low molecular weight polyethylene biodegradation [J]. *International biodeterioration & biodegradation*, 2015, 103: 141 – 146.
- [9] 唐赞. 嗜热菌 NG80 – 2 的烷降解特性及其烷烃单加氧酶分子生物学研究 [D]. 天津: 南开大学, 2006.
- [10] 唐赞, 谭洪. 一株高效降解中长链烷烃菌株的分离鉴定及其降解特性研究 [J]. *生物过程*, 2013(3): 9 – 15.
- [11] 敬删, 唐赞. 一株降解中长链烷烃菌株 TWJ22 的解烷特性研究 [J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 38(2): 141 – 145.
- [12] WANG L P, WANG W P, LAI Q L, et al. Gene diversity of CYP153A and *alkB* alkane hydroxylases in oil-degrading bacteria isolated from the Atlantic Ocean [J]. *Environmental microbiology*, 2010, 12(5): 1230 – 1242.
- [13] SMITS T H M, SEEGER M A, WITHOLT B, et al. New alkane-responsive expression vectors for *Escherichia coli* and *Pseudomonas* [J]. *Plasmid*, 2001, 46(1): 16 – 24.

## 科技论文写作规范——题名

以最恰当、最简明的词句反映论文、报告中的最重要的特定内容,题名应避免使用不常见的缩略语、首字母缩写词、字符、代号和公式等。一般字数不超过 20 字。英文与中文应相吻合。英文题名首字母大写,连词及冠词除外。