

冬油菜与杂草对长期不同施肥的差异性适应^①

唐静¹, 黄菲¹, 李继福^{1*}, 肖克¹, 邹家龙², 朱建强¹, 秦亚平¹

(1 湿地生态与农业利用教育部工程研究中心/长江大学农学院, 湖北荆州 434025;

2 湖北省荆州市荆州区土肥站, 湖北荆州 434025)

摘要: 研究长期水旱轮作条件下, 施肥模式对田间冬油菜、杂草、土壤养分及冬油菜-杂草空间分布的影响, 为长江流域冬油菜轻简化生产提供依据。2011年在湖北省粮油主产区——江汉平原布置水稻-冬油菜轮作肥效定位试验。2016年冬油菜收获期, 调查农田杂草群落多样性和分析油菜-杂草-土壤养分三者状况。结果表明, 长期土壤养分亏缺会显著影响油菜-杂草的生长和空间分布、形成不同的杂草优势群落。平衡施肥(NPK处理)有助于增加冬油菜根茎粗、有效分枝数、角果数和最终产量, 降低杂草总生物量, 提高杂草群落多样性 Shannon-Wiener 指数。与 NPK 处理相比, -N、-P 和 -K 均会不同程度地降低籽粒、茎秆、角壳和杂草的养分吸收量, 尤以 -P 处理降幅最为明显。与土壤养分含量的初始值相比, 长期不施用化肥会引起土壤氮磷钾有效含量下降, 尤其对于土壤钾, 现有平衡施肥措施不足以弥补农田钾素亏缺, 应重视秸秆还田的补钾效果。总之, 长期科学的农田养分管理与调控措施, 不仅可以降低杂草对冬油菜的危害、增强生物多样性和形成良性的油菜-杂草竞争环境, 也有利于减少化学药剂使用、推动冬油菜的轻简化生产。

关键词: 平衡施肥; 冬油菜; 杂草群落; 土壤; 养分吸收; 生态防控

中图分类号: S451.1; S143 **文献标识码:** A

田间杂草作为农业生态系统的重要组成部分, 一方面它与作物竞争光照、土壤养分和生存空间成为作物减产的主要因素之一; 另一方面, 保持适当数量的杂草多样性对于防止土壤侵蚀、促进养分循环和降低某些优势杂草的群落优势有着不可或缺的作用^[1-4]。近年来, 随着农村青壮年劳动力转移和规模农场的出现, 长江流域冬油菜轻简化生产模式, 诸如减少施肥次数、移栽改为直播和减少杂草化控等已成为油菜产业可持续发展的必由之路^[5-7]。施肥作为提高作物产量的重要农艺措施, 也是控制油菜田杂草生长的有效手段^[8-9]。对农作物进行合理施肥能够起到增产、节本和增效等诸多功能。已有研究表明通过施用氮磷钾肥不但有助于控制杂草危害, 还能使田间杂草保持生物多样性^[10-11]。

然而, 冬油菜主产区以水稻-油菜轮作为主, 在长期水旱耕作施肥过程中, 土壤肥力呈周期性变化, 比较稳定^[10]。杂草群落也会适应土壤环境这一

变化过程, 出现某些杂草适宜在某些特定的土壤肥力环境中生长, 并形成具有相对优势的杂草种群^[12]。同时, 特定养分环境下形成的杂草优势种群也具有一定的肥力水平指示作用^[13]。例如野老鹤草(*Geranium sibiricum* L.)和鼠鞠草(*Hybanthus enneaspermus* L.)能够在有效磷含量较低的土壤中生长, 而牛繁缕(*Malachium aquaticum* L.)则需要肥沃的土壤才能正常生长^[13-14]。此外, 固氮类杂草或者绿肥如紫云英(*Astragalus sinicus* L.)、光叶苕子(*Viciavillosa rothvar* L.)等能够将吸收的部分氮素供应给作物, 实现作物与杂草良性平衡, 也有利于降低氮肥用量, 提高肥料利用率^[15-16]。因此, 本文着重于长期不同施肥模式下形成的特定养分对作物、杂草的差异性影响, 揭示作物与杂草对农田养分-空间的竞争效应, 以期寻求适宜的养分调控措施, 为长江流域冬油菜轻简化生产和田间杂草防治提供参考依据。

基金项目: 湿地生态与农业利用教育部工程研究中心开放基金项目(KF201613), 国家重点研发计划专项(2016YFD0300907)和长江大学大学生创新创业项目(2016154)资助。

* 通讯作者(jifuli@yangtzeu.edu.cn)

作者简介: 唐静(1995—), 女, 四川巴中人, 本科, 科研助理, 从事粮油作物养分管理研究。E-mail: 2467605269@qq.com

1 材料与方方法

1.1 试验点概况

试验区位于湖北省荆州市荆州区川店镇(30°33'24"N, 112°4'56"E, 海拔 52 m), 为江汉平原河流冲积物发育的水稻土, 2011 年水稻季开始进行水旱轮作肥效定位试验, 采用一年两熟的中稻-冬油菜轮作模式。试验前耕层(0~20 cm)土壤基本理化性质为: pH 6.4、有机质 28.8 g/kg、全氮 0.6 g/kg、碱解氮 275.3 mg/kg、有效磷 4.44 mg/kg、速效钾 96.6 mg/kg 和缓效钾 528.2 mg/kg。本研究截取 2016 年度油菜季相关数据, 研究长期平衡施肥对油菜生长和田间杂草生态多样性的影响。

1.2 试验设计

本研究共选取其中 4 个处理, 分别为: 施磷钾肥(-N)、施氮钾肥(-P)、施氮磷肥(-K)、施氮磷钾肥(NPK)。各处理 3 次重复, 小区面积 20 m², 随机区组排列。水稻和油菜除缺素处理不施相应养分外, 其他处理每季的养分施用量均保持一致, 即: N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm²、硼砂 15 kg/hm²。肥料品种有尿素(46% N)、过磷酸钙(12% P₂O₅)、氯化钾(60% K₂O)和硼砂(11% B)。水稻季氮肥分 3 次施用, 基肥 蘖肥 穗肥 = 2 1 1; 磷肥和钾肥在水稻移栽前一次性基施。冬油菜季氮肥分 3 次施用, 基肥 越冬肥 蕾薹肥 = 3 1 1; 磷、钾和硼肥一次性基施。

试验所用水稻和油菜品种均为当地主推品种, 分别为鄂科 1 号和华油杂 15 号。冬油菜采用移栽方式, 密度 10 万株/hm²。田间管理采用当地轻简化生产技术, 收获时将农作物秸秆移出农田以免影响肥料效

应。油菜生长期间不进行化学除草, 仅在蕾薹期进行菌核病防治。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤样品 基础土样于 2011 年 5 月冬油菜收获后采集, 取 0~20 cm 耕层土壤, 按照“四分法”取 1 kg 带回实验室, 风干磨细过 0.85 mm 筛, 保存。油菜收获后, 采集各小区土壤样品, 处理过程同上述方法, 土壤基本理化性质按照常规方法测定^[17]。

1.3.2 植物样品 油菜成熟期, 各小区选取有代表性植株 10 株, 调查株高、根茎粗、分枝数、角果数、千粒重等生长指标。油菜收获前 1 d 每个小区取样 10 株; 杂草按照 1.2 m × 1.2 m 样方取地上部。油菜分为茎秆、角壳和籽粒三部分并称重, 用以测定氮磷钾养分含量和估算秸秆生物量; 各小区杂草在分类、烘干称重后, 混匀用于氮磷钾养分测定。植物样品采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消解, 流动注射分析仪测定植物全氮和全磷含量, 火焰光度计测定植物全钾含量。

1.4 数据处理与分析

杂草多样性计算方法^[18], Shannon-Wiener 指数:

$$H = -\sum P_i \ln P_i (i = 1, 2, 3, \dots, S)$$

式中: P_i 为第 i 种物种的比例多度, $P_i = N_i/N$, N 为单位面积全部杂草的总干物质量, N_i 为第 i 种物种的干物质量, S 为物种数。

试验数据采用 MS Excel 2010 和 SPSS Statistics 计算和作图, LSD 法检验 $P < 0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对冬油菜-杂草空间分布影响

图 1 结果显示油菜成熟期长期养分胁迫会显著影响油菜和杂草的空间分布。缺氮(-N)条件下, 油菜

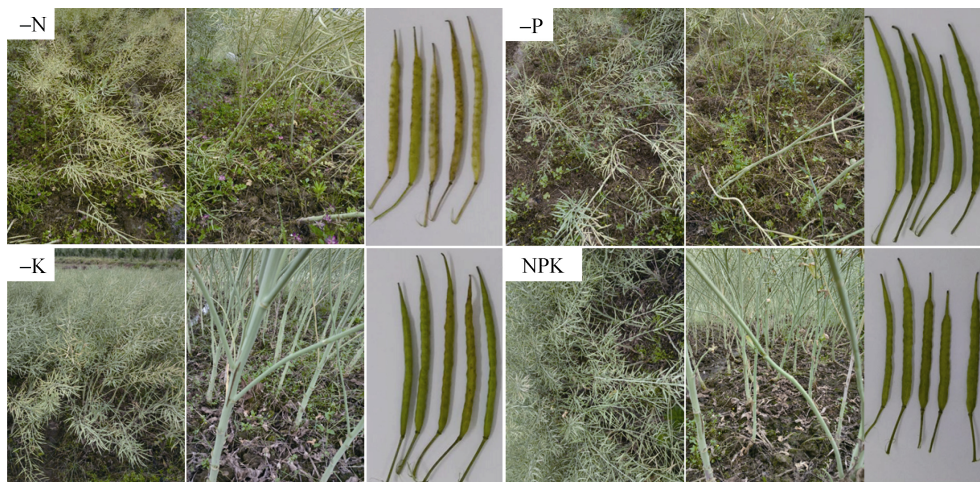


图 1 成熟期冬油菜-杂草长势和空间分布

Fig. 1 Growth status and spatial distribution of winter rapeseeds-weeds in mature period

植株多为直立型、角果皮偏黄，出现早熟和早衰的现象；而杂草长势良好，平均高度为 35 cm，地面盖度可达 56%。缺磷(-P)条件下，油菜植株矮小、细长，以直立型为主且成活率低于-N 处理；同样，杂草长势也不如-N 处理、平均高度为 22 cm，种群分布不均，有枯草，盖度为 38%。长期不施钾肥的田块油菜长势良好，部分角果皮发黄，株型多为开张型；杂草平均高度和盖度分别为 14 cm 和 23%。NPK 处理的油菜植株长势良好，角果皮呈绿色，株型多为开张型，可提高光照有效利用率；相比其他 3 个处理，NPK 处理的杂草长势最弱，分布稀少，其平均高度和盖度

仅为 10 cm 和 12%。

2.2 不同施肥处理对冬油菜生长状况的影响

长期不同施肥处理对油菜生长和发育产生显著影响，结果如表 1 所示。与 NPK 处理相比，-N 处理的株高、根茎粗、分枝数、主序和分枝角果数均显著降低，而每角粒数和千粒重无明显差异。-P 处理除千粒重外，其他各项指标均显著低于 NPK 处理。-K 处理的二级分枝数和分枝角果数低于 NPK 处理，其他指标无明显差异。因此，长期平衡施用 NPK 肥料能够显著促进油菜生长发育，而油菜对土壤养分缺乏的敏感度表现为 P>N>K。

表 1 冬油菜成熟期生长指标
Table 1 Growth indexes of rapeseeds in mature period

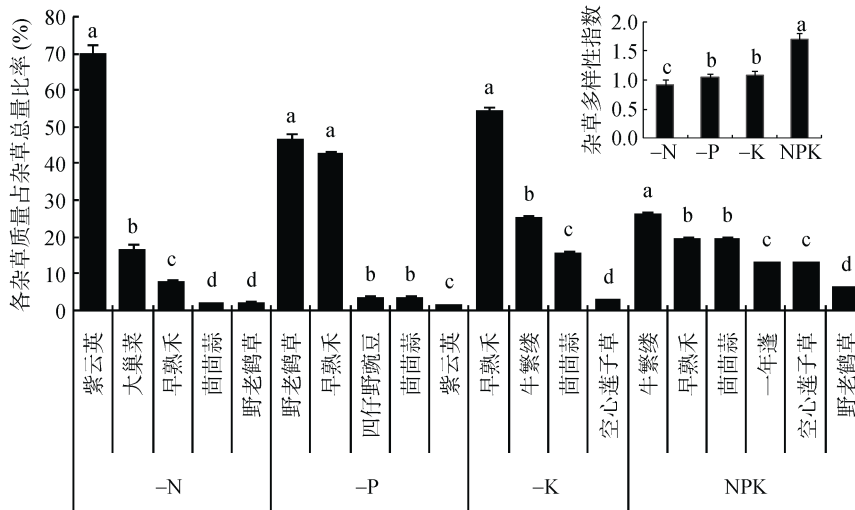
处理	株高(cm)	根茎粗(cm)	一级分枝数	二级分枝数	主序角果数	分枝角果数	每角粒数	千粒重(g)
-N	134.5 ± 17 b	1.4 ± 0.6 ab	6.7 ± 2.2 b	0.7 ± 1.6 c	62.3 ± 20 b	118.5 ± 128 c	23.3 ± 2.9 ab	2.7 ± 4.4 a
-P	112 ± 9 c	1.3 ± 0.1 b	5.0 ± 0.9 c	0.0 ± 0.0 d	47.0 ± 12 c	41.5 ± 13 d	22.0 ± 4.9 b	2.7 ± 0.4 a
-K	158.7 ± 9 ab	2.1 ± 0.2 a	11.2 ± 1.0 a	1.7 ± 1.2 b	81.0 ± 6 a	286.7 ± 37 b	24.1 ± 3.6 a	2.8 ± 0.2 a
NPK	165.8 ± 11 a	2.4 ± 0.7 a	11.0 ± 1.3 a	3.0 ± 2.5 a	82.3 ± 15 a	343.7 ± 48 a	23.9 ± 5.1 a	2.7 ± 0.2 a

注：同列数据小写字母不同表示不同种植模式间差异达到 P<0.05 显著水平，下表同。

2.3 不同施肥处理对田间杂草种群密度的影响

由图 2 可知，长期缺氮(-N)的条件下，田间杂草主要有 5 类种群，分别是紫云英、大巢菜(*Vicia sativa* L.)、早熟禾(*Poa annua* Linn.)、苜蓿(*Ranunculus chinensis* Bunge)和野老鹤草，其中紫云英为优势种，其生物量占杂草总密度的 70.1%，而其他杂草分别占比 16.9%、8.1%、2.4% 和 2.4%。长期缺磷(-P)的条件下，田间形成了野老鹤草、早熟禾、四籽野豌豆(*Vicia tetrantha* H. W. Kung)、苜蓿和紫云英 5 类种群，其中野老鹤草为优

势种，占总密度的 47.1%，而其他杂草分别占总生物量的 43.1%、3.9%、3.9% 和 2.0%。-K 处理以早熟禾、牛繁缕、苜蓿和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* Griseb.)为主，其中早熟禾为优势种，占总密度的 54.8%，其他则分别占 25.8%、16.1% 和 3.2%。NPK 处理的杂草主要有牛繁缕、早熟禾、苜蓿、一年蓬(*Erigeron annuus* Pers.)、空心莲子草和野老鹤草 6 种，其中牛繁缕为优势种，占总密度的 26.7%，其他分别为 20.0%、20.0%、13.3%、13.3%、6.7%。



(图中小写字母不同表示处理内各参数间差异达到 P<0.05 显著水平，下同)

图 2 不同处理对杂草种群优势及丰富度的影响

Fig. 2 Preponderances and abundances of weed populations under different treatments

同时,土壤养分差异对杂草群落的多样性也产生显著的影响,杂草多样性指数(Shannon-Wiener)结果显示 NPK 处理的杂草群落生物多样性最高,为 1.7,而 -N、-P 和 -K 处理的 Shannon-Wiener 指数均有不同程度的下降。可见,土壤养分平衡供应有助于提高杂草群落的物种多样性,而养分缺乏则会抑制杂草物种均衡发展。

2.4 不同施肥处理对冬油菜和杂草干物质质量的影响

图 3 结果显示施用氮磷钾肥料能够显著增加油菜生物量,而养分亏缺则会不同程度地降低油菜生物量。与 NPK 处理相比,-P、-N 和 -K 处理的油菜总生物量分别减少了 52.2%、44.8% 和 21.1%;就油菜各部位而言,茎秆和籽粒的生物量差异最为明显。田间杂草对养分胁迫的响应与油菜存在一定的差异,图 3 结果表明 NPK 处理的杂草生物量最低,为 102 kg/hm²,而 -N 处理的杂草生物量最高。

2.5 不同施肥处理对冬油菜和杂草养分吸收量的影响

图 4 结果表明,不同施肥处理下,油菜地上部的氮磷钾吸收量存在显著差异,但处理间 3 种养分吸收量的变化趋势基本一致,即: NPK > -K > -N > -P。从图 4 来看,杂草对农田氮磷钾养分的吸收也不容忽视,且处理间氮磷钾 3 种养分的吸收量变化趋势均为

-N > -P > -K > NPK。

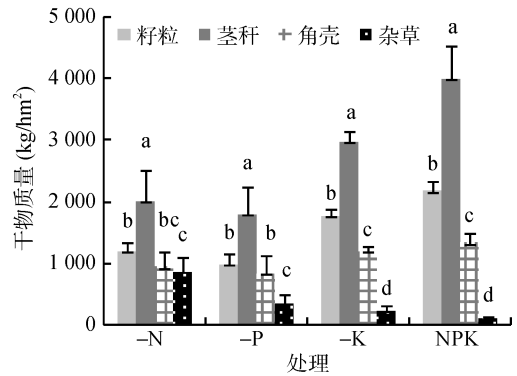


图 3 不同处理下的冬油菜和杂草干物质质量
Fig. 3 Dry biomass of rapeseeds and weeds under different treatments

2.6 不同施肥处理对土壤养分含量的影响

由表 2 可知,与初始值相比,各处理土壤养分含量均有明显的变化。碱解氮含量结果显示,-N、-P 和 -K 处理的含量均呈下降趋势,分别降低了 9.8%、6.7% 和 5.7%,而 NPK 处理则增加了 2.2%。土壤有效磷含量表明,与初始值相比,-P 处理显著降低了 13.8%,其他处理并无显著差异。长期不施用钾肥和氮磷钾均衡施肥均会造成土壤速效钾含量下降,与初始值相比,分别降低了 25.8% 和 14.3%。处理间土壤缓效钾含量变化不大,这可能与背景值较高有关。

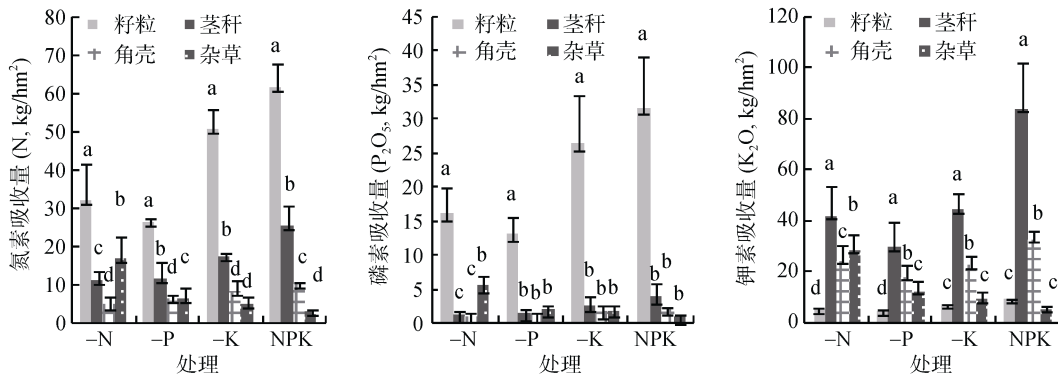


图 4 不同处理对冬油菜和杂草养分吸收量的影响
Fig. 4 Nutrient uptake of rapeseeds and weeds under different treatments

表 2 冬油菜收获后耕层土壤养分含量
Table 2 Nutrient contents in plough layers after harvest of winter rapeseeds

处理	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	缓效钾(mg/kg)
-N	241.3 ± 4.5 c	4.27 ± 0.16 b	86.9 ± 6.3 ab	520.9 ± 14.2 a
-P	257.0 ± 9.3 b	3.83 ± 0.90 c	88.0 ± 9.0 ab	524.4 ± 15.4 a
-K	259.7 ± 3.6 b	4.52 ± 0.23 a	71.7 ± 7.1 c	502.9 ± 9.7 b
NPK	281.3 ± 5.0 a	4.56 ± 0.38 a	82.8 ± 2.9 b	535.6 ± 34.2 a
初始值	275.3 ± 6.7 ab	4.44 ± 0.49 ab	96.6 ± 7.2 a	528.2 ± 21.5 a

3 讨论

3.1 长期不同施肥措施对冬油菜生长及产量的影响

自 2005 年开展测土配方施肥项目以来,优化作物施肥技术受到普遍重视,但施肥不足或过量、氮磷钾养分比例不协调等现象在长江流域冬油菜主产区仍然存在。相关研究表明氮磷钾肥对油菜籽产量的贡献率分别为 41.9%、21.4% 和 11.5%^[19]。合理施肥可有效促进油菜生长发育,改善产量构成因素并最终获得较高产量^[20]。本研究表明,长期处于养分亏缺环境中,油菜成活率下降、植株矮小、冠层缩小、早衰、有效分枝和角果数显著减少。通常而言,油菜的养分限制因子顺序为 $N > P > K$,这与肥料贡献率相一致。但本研究长期定位试验结果则显示为 $-P > -N > -K$,这一方面与该地区土壤有效磷含量相对较低有关,另一方面,旱作水分条件限制也会降低土壤磷的活性、造成土壤供磷能力不足^[21-23]。此外,经过 6 年稻油轮作后,NPK 处理的速效钾含量比初始值显著降低 14.2%,而有效氮和有效磷未发生明显变化。可见,长期平衡施肥虽然可以有效补充土壤氮磷,但对于钾素平衡仍显不足。相关研究表明,长期秸秆还田配施钾肥可提高土壤有效钾含量。随着我国现代农业、规模农业的持续发展,尤其机械化采收的普及,秸秆还田日益被农民认可。因此,将平衡施肥与秸秆还田相结合不失为一种节本增效、维持农田综合肥力的良好途径^[24]。

3.2 长期不同施肥措施对杂草群体及生物量的影响

通过施肥措施增加作物竞争优势和改善农田养分环境来治理杂草的方法越来越受到关注。不同施肥措施下会形成差异明显的杂草群落,使杂草种类、优势杂草组成、杂草密度和相对多度发生变化,导致物种 Shannon-Wiener 指数和生物量不同^[25-26]。如本研究表明长期施用氮磷钾肥后,农田杂草群落的物种丰富度增加,而养分缺乏(-N、-P 和 -K 处理)则会不同程度地抑制杂草物种均衡发展并促使某种杂草形成优势种群,这是杂草长期适应土壤条件及与作物竞争的综合结果。在 -N 处理下杂草的生物量最高,达 844 kg/hm^2 ,其中紫云英作为优势种群占总量的 70.1%,远高于其他处理杂草生物量,这一结果可能与各处理杂草群里的优势种群及土壤养分胁迫程度有关。已有研究表明杂草多样性 Shannon-Wiener 指数越大,优势种群越不突出,则杂草群落的结构越复杂,其反馈系统也越强大,对逆境胁迫的缓冲作用越强,杂草也不容易严重发生^[27]。从本研究来看,长

期施用氮磷钾肥料后,油菜长势好,杂草生长受到抑制,故杂草生物量也最低,为 102 kg/hm^2 ,杂草群落多样性指数却最高,优势种群并不明显,呈均衡发展,并未对油菜生长及产量形成产生严重危害。因此,长期均衡施肥更易形成稳定的农田生态环境,提高生物多样性并显著抑制优势杂草生长。

3.3 冬油菜和杂草的生态效应

杂草作为农田生态系统的组成部分,一方面直接与作物竞争养分、光照及生存空间等资源,导致作物产量下降;另一方面,农田杂草多样性又反映出生态系统的健康发展和土壤肥力特征。本试验区,长期缺氮(-N)条件下,紫云英和野豌豆逐渐形成优势种群(图 1),其生物量与油菜产量基本持平。作为杂草,它们的存在必然会参与生存资源的竞争,但也可以看出紫云英和野豌豆也属于豆科类植物,自身具有固氮能力,是很好的绿肥,所以,可以通过生物固氮途径增加土壤氮含量,为油菜提供生长所需的养分氮,缓解氮素亏缺的胁迫作用^[15-17]。因此,在农业生产过程中,油菜混播适量紫云英,不仅可以有效利用光热资源、降低氮肥施用量和农田氮素流失,还可以避免恶性杂草优势,形成互利共生关系^[28]。但是,在长期缺磷(-P)情况下,油菜和杂草的长势均明显减弱,光热有效利用空间严重缩小(图 1)。-P 处理杂草的优势种群为老鹤草和早熟禾(耐贫瘠),其群落形成预示着土壤养分含量极低,难以满足作物对养分吸收的需求。对于 -K 和 NPK 处理,杂草群落丰富度提高、杂草生物量下降,尤其在 NPK 处理中,繁缕形成优势种群,表明土壤肥力较高、养分相对均衡。从油菜-杂草的生长空间来看,长期合理施肥有助于提高油菜植株的光照面积和养分吸收、抑制杂草株高,形成低矮杂草群落,最终控制杂草对农田养分的吸收^[29]。低矮杂草群落能够起到增加地表覆盖、保持水土的作用^[30-31]。可见,长期合理的农田养管理理与调控措施,不仅可以降低杂草对油菜的危害、稳定农田生态系统平衡,还可减少农药使用、推动冬油菜的轻简化生产。

4 结论

长期平衡施肥(NPK 处理)有助于增加冬油菜根茎粗、有效分枝数、角果数和最终产量,降低杂草总生物量,提高杂草群落多样性。与 NPK 处理相比,-N、-P 和 -K 均会不同程度地降低籽粒、茎秆、角壳和杂草的养分吸收量,尤以 -P 处理降幅最为明显。与土壤养分含量的初始值相比,长期不施用化肥会引起土壤有效养分含量下降,现有平衡施肥措施不

足以弥补农田钾素亏缺，应重视秸秆还田的补钾效应。总之，长期科学的农田养分管理与调控措施，不仅可降低冬油菜季草害发生、减少农药使用量、推动冬油菜的轻简化生产，还能提高农田生态系统的生物多样性。

参考文献：

- [1] Jasieniuk M, Maxwell B D. Plant diversity: New insights from molecular biology and genomics techniques[J]. *Weed Science*, 2011, 49: 257–262
- [2] Davis A S. Nitrogen fertilizer and crop residue effects on seed mortality and germination of eight annual weed species[J]. *Weed Science*, 2007, 55(2): 123–128
- [3] 潘俊峰, 万开元, 程传鹏, 等. 农田杂草土壤种子库对施肥模式的响应[J]. *土壤*, 2014, 46(1): 76–82
- [4] Singh G, Singh P S. Effect of integrated weed management on growth and yield of summer mung[J]. *Environment & Ecology*, 2008, 26: 269–271
- [5] 徐华丽, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 江苏省油菜施肥状况调查[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 746–750
- [6] 朱文达. 湖北省油菜田灾害性杂草高效防控技术研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(1): 156–162
- [7] 官春云. 中国油菜产业发展方向[J]. *粮食科技与经济*, 2011, 36(2): 5–6
- [8] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 不同施肥条件下黄土麦地杂草生物多样性[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1038–1042
- [9] 陈欣, 王兆骞, 唐建军. 农业生态系统杂草多样性保持的生态学功能[J]. *生态学杂志*, 2000, 19(4): 50–52
- [10] 万开元, 潘俊峰, 陶勇, 等. 长期施肥对农田杂草的影响及其适应性进化研究进展[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(11): 2943–2949
- [11] 陆志峰, 鲁剑巍, 鲁君明, 等. 施肥对油菜及田间杂草物质养分积累的影响[J]. *杂草科学*, 2013, 31(1): 10–14
- [12] Poggio S L, Satorre E H, Fuente E B. Structure of weed communities occurring in pea and wheat crops in the Rolling Pampa (Argentina) [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 103: 225–235
- [13] Moss S R, Storkey J, Cussans J W, et al. The Broadbalk long-term experiment at Rothamsted: What has it told us about weeds[J]. *Weed Science*, 2004, 52: 864–873
- [14] 李儒海, 强胜, 邱多生, 等. 长期不同施肥方式对稻油两熟制油菜田杂草群落多样性的影响[J]. *生物多样性*, 2008, 16(2): 118–125
- [15] 张达斌. 黄土高原地区种植豆科绿肥协调土壤水分和氮素供应的效应及机理[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2016
- [16] 樊丽生, 郑联寿, 王俊, 等. 玉米套种绿肥模式对连作田土壤肥力及产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2013, 45(10): 89–91, 94
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [18] 侯红乾. 冬小麦-杂草氮素营养竞争研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2007
- [19] 王伟妮, 鲁剑巍, 陈防, 等. 湖北省水稻施肥效果及肥料利用效率现状研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 289–295
- [20] Zhang Q, Wang G H, Feng Y K. Changes in soil phosphorus fractions in a calcareous paddy soil under intensive rice cropping[J]. *Plant and Soil*, 2006, 288: 141–154
- [21] Lan Z M, Lin X J, Wang F, et al. Phosphorus availability and rice grain yield in a paddy soil in response to long-term fertilization[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(5): 579–588
- [22] Shigaki F, Sharpley A, Prochnow L I. Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 373: 334–343
- [23] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草种群组成的影响[J]. *土壤*, 2005, 37(1): 56–60
- [24] 李继福, 薛欣欣, 李小坤, 等. 水稻-油菜轮作模式下秸秆还田替代钾肥的效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2): 317–325
- [25] Blackshaw R E, Semach G, Janzen H H. Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat[J]. *Weed Science*, 2002, 50: 634–641
- [26] 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: 614–622
- [27] 王立. 松嫩草地优势禾草生理生态的适应特性及其对模拟气候变化的响应[D]. 长春: 东北师范大学, 2006
- [28] 魏云霞. 紫云英与油菜、黑麦草混播种植和利用效应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013
- [29] Yin L C, Cai Z C, Zhong W H. Changes in weed composition of winter wheat crops due to long-term fertilization[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107: 181–186
- [30] Kaspar T C, Jaynes D B, Parkin T B, et al. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 110: 25–33
- [31] Restovich S, Aadrilulo A, Portel A S I. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics[J]. *Field Crops Research*, 2012, 128: 62–70

Different Adaptations of Winter Rapeseeds and Weeds Responding to Long-term Balanced Fertilization

TANG Jing¹, HUANG Fei¹, LI Jifu^{1*}, XIAO Ke¹, ZOU Jialong², ZHU Jianqiang¹, QIN Yaping¹

(1 *Engineering Research Center of Ecology and Agricultural Use of Wetland, Ministry of Education / College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China*; 2 *Soil and Fertilizer Station of Jingzhou, Jingzhou, Hubei 434025, China*)

Abstract: In order to provide a scientific basis for simplified cultivation of rapeseed in the Yangtze River Basin, a long-term (2011—2016) field experiment was carried out in Jiangnan Plain to study the effects of different fertilization models on rapeseeds, weeds, soil nutrients, and the spatial distribution of winter rapeseeds-weeds in a rotation system of rice-winter rapeseed. Through field investigation and lab analysis, the data of weed communities and of nutrient status in rapeseed-weed-soil system were obtained during the rapeseed harvest season in 2016. The results showed that soil nutrient deficit significantly affected the growth and spatial distribution of both rapeseeds and weeds, and could influence the formation of different weed communities. However, balanced fertilization obviously increased the thickness of rapeseed roots, the numbers of branch and pod as well as the final yield, and also reduced weed biomass and increased Shannon index. Compared with NPK treatment, separate -N, -P and -K treatments reduced nutrient uptake of rapeseed grain, stem and shell as well as weeds to different degrees, especially for -P treatment. Long-term fertilization deficits reduced soil N, P and K contents compared to the initial values, especially for K. The existing balanced fertilization measures were not sufficient to offset K deficiency, indicating the importance of returning straw K to field. Overall, long-term scientific nutrient management and regulation can not only reduce damage from weeds, strengthen biodiversity of rapeseed, form a favorable competitive environment for rapeseed, but also can reduce pesticide use and promote simplified cultivation of rapeseed in South China.

Key words: Balanced fertilization; Winter rapeseed; Weed communities; Soil status; Nutrient uptake; Ecological control