

绿肥间作还田配合有机肥减氮对马铃薯产量的影响

郭爱琴^{1,2}, 方玉川^{1,3}, 陈占飞¹, 汪奎¹, 孙利军¹, 王雯²,

吕军¹, 高青青¹, 冯瑞瑞¹, 王小英¹

(1. 榆林市农业科学研究院, 陕西榆林 719503; 2. 榆林学院, 陕西榆林 719503;

3. 陕西省马铃薯工程技术研究中心, 陕西榆林 719503)

摘要:合理的肥料施用方法对马铃薯的生长至关重要。为缓解榆林马铃薯化肥氮施用量多的情况, 研究采用绿肥与马铃薯间作并于盛花期还田, 配合有机肥氮替代化肥氮, 绿肥还田及绿肥还田与有机肥氮替代化肥氮协同作用对马铃薯产量的影响, 寻求最佳的马铃薯施肥方案。试验共设置6个处理, 分别是CK(不施肥), L1(全量化肥氮), L2(绿肥+20%有机肥氮+80%化肥氮), L3(绿肥+30%有机肥氮+70%化肥氮), L4(绿肥+40%有机肥氮+60%化肥氮), L5(绿肥+全量化肥氮), 结果显示: 在绿肥间作还田条件下, 40%有机肥替代化学氮肥对马铃薯产量有显著促进作用; L5和L4处理下马铃薯氮肥利用率最高, 两处理间无显著差异; 灰色关联度分析中, L4处理关联度值最高, 综合排序中L5和L4处理得分最高。综上, 绿肥间作还田可提高马铃薯产量, 绿肥间作还田配合40%有机肥替代化肥氮是本试验中最优的马铃薯施肥模式。

关键词:绿肥; 有机肥; 减氮; 马铃薯; 产量

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2024)12-0078-06

Effect of Green Manure Intercropping Combined with Organic Fertilizer on Potato Yield

GUO Aiqin^{1,2}, FANG Yuchuan^{1,3}, CHEN Zhanfei¹, WANG Kui¹, SUN Lijun¹, WANG Wen²,

LU Jun¹, GAO Qingqing¹, FENG Ruirui¹, WANG Xiaoying¹

(1. Yulin Academy of Agricultural Sciences, Yulin, Shaanxi 719053, China; 2. Yulin University, Yulin, Shaanxi 719053, China;

3. Shaanxi Potato Engineering Technology Research Center, Yulin, Shaanxi 719053, China)

Abstract: The method of optimal fertilizer application plays a critical role in potato growth and yield. To address the excessive application of chemical nitrogen fertilizer in potato cultivation in Yulin, an intercropping system with green manure and potato was implemented. Green manure was returned to the field at full flowering. Meanwhile, organic nitrogen fertilizer was introduced to partially replace chemical nitrogen fertilizer. Six treatments were designed: CK (no fertilizer), L1 (100% chemical nitrogen fertilizer), L2 (green manure + 20% organic nitrogen fertilizer + 80% chemical nitrogen fertilizer), L3 (green manure + 30% organic nitrogen fertilizer + 70% chemical nitrogen fertilizer), L4 (green manure + 40% organic nitrogen fertilizer + 60% chemical nitrogen fertilizer), and L5 (green manure + 100% chemical nitrogen fertilizer). This study investigated the effects of green manure application and its synergistic interaction with organic nitrogen fertilizer on potato yield, aiming to determine the optimal fertilization strategy. The results indicated that 40% organic nitrogen fertilizer as a substitute for chemical nitrogen fertilizer significantly enhanced potato yield under green manure intercropping conditions. Nitrogen use efficiency was highest among L5 and L4 treatments, with no statistically significant

收稿日期: 2024-01-22 修回日期: 2024-03-20

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-09); 国家重点研发计划项目(2023YFD2302100); 陕西省马铃薯产业技术体系项目(SNTX-14)。

第一作者简介: 郭爱琴(1993-), 女, 助理农艺师, 本科, 研究方向为作物栽培与高效施肥。

difference observed between the two treatments. Grey correlation analysis indicated that L4 had the highest correlation value, moreover, L4 and L5 ranked highest in the comprehensive analysis. In conclusion, green manure intercropping improves potato yield, and combining green manure intercropping with 40% organic nitrogen fertilizer substitution is the optimal fertilization strategy in this experimental context.

Key words: Green manure; Organic fertilizer; Nitrogen reduction; Potatoes; Production

目前我国在化肥使用中,多存在着盲目过量、施用方法和比例不当,造成土壤板结、酸化甚至对环境造成面源污染。黄国勤等人^[1]的研究指出,过量的化肥会负面影响农业生态环境,包括土壤酸化和板结、硝酸盐污染、重金属污染、土壤次生盐渍化,以及水体富营养化、作物品质下降等一系列问题。张峰^[2]提出,农户过量投入化肥与化肥施用结构不合理是造成面源污染的直接原因。氮肥对作物的影响至关重要,在马铃薯生产中,氮肥的增产效果比磷肥和钾肥都高^[3]。榆林市马铃薯种植面积和产量均在全国地市级前五位,生产潜力大、效益高,但在生产中化肥氮的大量施用现象较为严重^[4,5]。然而,过量的化学氮肥对环境、作物产量和品质均产生不利影响^[6]。因此,化肥氮减量增效利用是当前榆林沙地马铃薯种植中需迫切解决的问题之一。

有机肥是作物生产中的优质肥料,目前在大量的实践研究中,有机肥氮替代化肥氮技术被广泛用于保持或提高作物产量的同时改善土壤结构,提升土壤养分^[7-10]。谢军等^[11]在有机肥氮替代化肥氮对玉米产量及氮素吸收利用率影响的研究中表明,有机肥氮 50%替代化肥氮处理下的玉米产量显著高于常规施肥处理,增产率为 12.5%。陈志龙等^[12]在小麦上的研究表明,有机肥 25%替代化肥氮处理,小麦产量与单施化肥持平,氮素积累量显著高于其他处理。石鑫蕊等^[13]在有机肥氮替代化肥氮在水稻上的研究指出,有机肥氮 20%替代量是最优的配施方案。

绿肥是我国传统的清洁有机肥料,也是天然的固氮植物,绿肥翻压技术具有用地与养地兼具的效果,对减少土壤病虫害、改善土壤结构、培肥土壤、进而增加作物产量^[14-17]效果显著。有研究表明,绿肥间作还田技术对作物生长及产量有着积极影响。莫璋红等^[18]在减施氮肥间作豆科绿肥压青的研究中表明,在甘蔗/绿豆间作条件下,50%减氮处理对甘蔗生长、产量及品质具有积极影响,甘蔗产量比单作增加 10.27%。黄武龙等^[19]通过连续两年大田试验,研究绿肥压青量与化肥配施对水稻产量影响,结果显示,在化肥施用量相同条件下,每

667 m² 压青绿肥鲜草 1 500 kg 最佳,对水稻有稳定的增产效果。赖朝考^[20]在研究中发现,绿肥压青还田可显著提高水稻产量,减少化肥用量,改善品质。

本研究将绿肥间作还田与有机肥氮梯度替代化学氮肥结合起来,在二者协同作用下探究其对马铃薯产量的影响,寻求最佳的马铃薯施肥模式,为榆林马铃薯科学施肥提供实践参考。

1 材料与方 法

试验地位于榆林市榆阳区榆卜界镇榆林农业科技示范园内,坐标为东经 109°80',北纬 38°38',海拔 1 050 m。属温干旱半干旱带季风气候,年内和年际降水不均,年平均降雨量 400 mm 左右,年平均气温 9.5 °C,无霜期 150 d 左右。试验田地势平坦,前茬作物为玉米。土壤类型为风沙土,结构松散,养分贫瘠,pH 为 8.2,土壤容重为 1.57 g/cm³,有机质为 1.96 g/kg,碱解氮为 31.27 mg/kg,有效磷为 0.45 mg/kg,速效钾为 92.12 mg/kg。本试验于 2023 年 4~9 月份进行。

马铃薯品种为冀张薯 12 号,绿肥品种为豆科箭舌豌豆,有机肥为羊粪,化肥为马铃薯专用肥(N:P₂O₅:K₂O=10:15:20),氮肥为尿素(含 N:46%),钾肥为硫酸钾(含 K₂O:50%)。

2 试验设计及田间管理

试验采用随机区组设计,共分为 6 个处理,分别是对照组 CK(不施肥),L1(全量化肥氮),L2(绿肥+20%有机肥氮+80%化肥氮),L3(绿肥+30%有机肥氮+70%化肥氮),L4(绿肥+40%有机肥氮+60%化肥氮),L5(绿肥+全量化肥氮),每个处理重复 3 次,共 18 个小区,小区面积为 43.2 m²。

4 月 27 日种植马铃薯,中耕培土后将箭舌豌豆种植于马铃薯垄间沟内,待箭舌豌豆盛花期将其割刈埋于马铃薯垄侧,期间适时浇水、施肥、除草,于 9 月 4 日收获马铃薯并测产。

2.1 观测指标

单株块茎数:马铃薯收获期在每个小区内选长势均匀的 10 株,挖出并记录每株块茎个数;

单株块茎重:马铃薯收获期在每个小区内选长势均匀的 10 株,挖出并称取每株块茎重量;

产量:马铃薯收获期在每个小区选中间 3 行全部挖出,并称取重量;

地上部生物量:选长势均匀的马铃薯整株挖出,取茎叶部分称重;

根生物量:选长势均匀的马铃薯整株挖出,取根部称重;

块茎生物量:选长势均匀的马铃薯整株挖出,取块茎称重。

2.2 计算方法

商品薯率:大薯($\geq 150\text{g}$)重量占小区内收获总薯块重量的比值;

肥料产量贡献率:(施肥区块茎产量-不施肥区块茎产量)/施肥区块茎产量;

氮肥农学效率:(施氮区块茎产量-不施肥区块茎产量)/氮肥施用量;

氮肥偏生产力:施氮区块茎产量/氮肥施用量;

地下部生物量:根生物量+块茎生物量;

整株生物量:地上部生物量+根生物量+块茎生物量;

经济系数:块茎生物量/整株重量。

2.3 数据分析

采用 Microsoft excel 整理数据,IBM SPSS Statistics 26 进行统计分析,Origin2018 作图。

3 结果与分析

3.1 绿肥还田条件下有机肥替代氮肥对马铃薯经济产量的影响

单株块茎数、单株块茎重、商品薯率及块茎产

表 1 不同处理马铃薯经济产量指标

处理	单株块茎数/个	单株块茎重/g	商品薯率/%	产量($\times 10^3$ kg/hm ²)
CK	6.62 \pm 0.07 c	0.72 \pm 0.07 d	41.63 \pm 1.68 c	17.17 \pm 0.06 d
L1	7.72 \pm 0.50 a	1.48 \pm 0.43 ab	63.13 \pm 0.45 b	24.41 \pm 1.01c
L2	6.20 \pm 0.66 c	1.18 \pm 0.22 c	61.83 \pm 0.35 b	26.23 \pm 0.45 bc
L3	6.60 \pm 0.26 c	1.34 \pm 0.35 bc	65.77 \pm 0.26 a	27.36 \pm 0.36 b
L4	7.55 \pm 0.69 ab	1.51 \pm 0.38 a	67.70 \pm 0.36 a	28.16 \pm 0.16 ab
L5	6.73 \pm 0.42 bc	1.33 \pm 0.27 bc	63.23 \pm 0.26 b	30.53 \pm 1.26 a

3.2 绿肥还田条件下有机肥替代氮肥对马铃薯生物量及经济系数的影响

由表 2 可知,各处理间马铃薯地上部生物量具有显著差异($P<0.05$),从大到小的排序为 L5>L4>L3>L2>L1>CK。马铃薯根生物量的大小规律为 L4>L5>L2>L3>L1>CK,其中 L4 最重,为 36.07 g。

量是综合衡量马铃薯经济产量的重要指标。由表 1 可知,马铃薯单株块茎个数由多到少排序为 L1>L4>L5>L3>CK>L2。L1 显著高于 L2、L3、L5 和 CK ($P<0.05$),平均结薯个数为 7.72 个/株。马铃薯单株块茎重量在 0.72~1.51 kg 之间,除 L1 外,L4 显著高于其他处理($p<0.05$),比最低处理 CK 高 109.72%,不施肥处理 CK 显著低于其他处理($P<0.05$);在绿肥间作还田条件下,在 20%到 40%的有机替代范围内,马铃薯单株薯块重量与有机肥替代化学氮肥的量呈正相关。各处理下商品薯率的范围在 41.63%~67.70%之间,从高到低的顺序为 L4>L3>L5>L1>L2>CK,其中 L4 处理最高,其次为 L3,L4 和 L3 显著高于其他处理($P<0.05$),CK 显著低于其他处理($P<0.05$),L1、L2、L5 间差异不显著。各处理下马铃薯产量在 17 174.3~30 525.65 kg/hm² 之间,产量由高到低的顺序为 L5>L4>L3>L2>L1>CK,其中 L5 处理单产最高,除 L4 外显著高于其他处理($P<0.05$),比 CK 增产 77.74%;L4 次之,比 CK 增产 63.99%;L2、L3、L4 处理的产量均高于 L1 且依次增大,因此,绿肥间作还田条件下,在 20%到 40%的有机替代范围内,对马铃薯有增产作用,且马铃薯产量与有机肥替代化学氮肥的量呈正相关。综上,在所有处理中 L5 单产最高,其次为 L4,且二者差异不显著,考虑到商品率 L4 表现最好,而 L5 处理中等薯块数量居多,因此 L4 表现最为突出;说明在绿肥间作还田条件下 40%有机肥替代化学氮肥对马铃薯产量有显著促进作用。

单株马铃薯块茎生物量最大的是 L5,显著高于其他处理($P<0.05$),其次是 L4,为 667.97 g,L5 与 L4 分别比 CK 高 101.21%、82.03%。单株马铃薯地下部分生物量、整株生物量各处理间差异性均与块茎生物量规律一致,由大到小为 L5>L4>L3>L2>L1>CK。经济系数最高的是 CK 处理,且显著高于其他

处理($P<0.05$),L4 排第二位,显著高于 L1 与 CK。

表 2 不同处理马铃薯生物产量及经济系数

处理	地上部生物量 /g	根生物量 /g	块茎生物量 /g	地下部生物量 /g	整株生物量 /g	经济系数 /%
CK	56.63±5.47 d	8.98±0.93 d	366.94±8.51 e	375.92±9.31 e	432.55±9.75 e	86.92±1.16 a
L1	113.61±4.19 c	11.63±1.32 d	475.73±25.46 d	487.36±26.42 d	600.96±30.15 d	81.07±0.44 d
L2	101.59±1.87 c	15.95±1.68 c	510.50±11.42 d	526.45±9.80 d	628.05±10.46 d	83.82±0.30 bc
L3	114.60±0.93 c	19.14±1.03 c	564.77±18.37 c	583.90±17.34 c	698.50±17.84 c	83.58±0.37 bc
L4	129.72±1.30 b	36.07±1.24 a	667.97±16.13 b	707.04±17.16 b	833.76±16.01 b	84.43±0.75 b
L5	167.97±9.23 a	27.09±1.39 b	738.33±15.70 a	765.42±14.46 a	933.39±23.54 a	82.03±0.54 cd

3.3 绿肥还田条件下有机肥替代氮肥对马铃薯氮肥利用效率的影响

绿肥还田配合有机肥替代氮肥对马铃薯氮肥吸收利用有显著影响,由表 3 可知,肥料产量贡献率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力整体变化趋势表现一致,由高到低的顺序均为 L5>L4>L3>L2>L1。L3、L4、L5 处理较 L1 处理显著提高肥料产量贡献率分别为 27.18%、33.44%、49.19% ($P<0.05$);氮

肥农学效率是评价氮肥施用后增产效果的重要指标,L3、L4、L5 处理分别较 L1 显著提高氮肥农学效率为 41.37%、52.60%、85.71% ($P<0.05$);氮肥偏生产力是反应土壤养分水平和化肥施用量综合效应的重要指标,L3、L4、L5 处理较 L1 处理显著提高氮肥偏生产力分别为 12.09%、15.36%、25.07% ($P<0.05$)。综上所述,对马铃薯氮肥利用率最高的是 L5 和 L4,两处理间无显著差异。

表 3 不同处理下马铃薯氮素利用效率

处理	肥料产量贡献率/%	氮肥农学效率(kg/kg)	氮肥偏生产力(kg/kg)
CK	-	-	-
L1	28.95±3.05 c	31.69±4.48 c	108.50±4.48 c
L2	34.07±1.13 bc	39.77±1.99 bc	116.59±1.99 bc
L3	36.82±0.82 b	44.80±0.71 b	121.62±0.71 b
L4	38.63±0.35 ab	48.36±5.58 ab	125.17±5.58 ab
L5	43.19±2.31 a	58.85±2.73 a	135.70±2.73 a

3.4 灰色关联度分析

3.4.1 关联系数与权重 对马铃薯单株块茎数(TNP)、单株块茎重(TWP)、商品薯率(CR)、单产(PY)4 个指标进行灰色关联度分析结果见表 4。商品薯率(CR)的关联系数最高,权重最大,为 0.268 9,单株块茎数(TNP)次之。

表 4 不同处理对应各指标关联系数及权重

处理	TNP	TWP	CR	PY
CK	0.662 4	0.333 3	0.420 7	0.375 2
L1	1.000 0	0.929 2	0.805 5	0.567 4
L2	0.586 7	0.544 2	0.763 3	0.651 2
L3	0.658 3	0.698 6	0.907 5	0.717 2
L4	0.927 0	1.000 0	1.000 0	0.772 5
L5	0.685 5	0.686 4	0.809 0	1.000 0
关联系数	0.753 3	0.698 6	0.784 3	0.680 6
权重	0.258 7	0.239 5	0.268 9	0.233 3

3.4.2 关联度 由表 5 可知,不同处理下等权关联度与加权关联度结果基本一致,从高到低排序为:L4>L1>L5>L3>L2>CK,L4 的等权关联度和加权关联度最高,分别为 0.924 9 和 0.928 0。综合得分最高的为 L5,L4 次之,CK 的关联度和综合得分均低于其他处理。

表 5 不同处理等权关联度加权关联度及综合得分

处理	等权关联度	排序	加权关联度	排序	综合值
CK	0.447 9	6	0.451 6	6	257.834 4
L1	0.825 5	2	0.829 8	2	365.124 2
L2	0.636 4	5	0.639 1	5	393.295 4
L3	0.745 4	4	0.748 7	4	409.989
L4	0.924 9	1	0.928 0	1	422.199 3
L5	0.795 2	3	0.792 3	3	459.881 1

4 结论

与马铃薯单作相比,绿肥间作还田条件下所有处理均有增产效果,且除 L1(绿肥+20%有机肥氮+80%化肥氮)外,其他处理产量均显著高于对照组($p<0.05$),氮素利用率最高的是 L5,说明绿肥间作还田可提高马铃薯产量与氮素利用率。L4 处理(绿肥间作还田配合 40%有机肥氮替代化肥氮)商品薯率最高,产量和氮肥利用率仅此于 L5,关联度值最高,经济系数仅次于 CK,高于其他处理,是本试验中最优的马铃薯施肥模式。因此,绿肥间作还田配合有机肥施用可减少化肥氮的施用量,为化肥减量增效利用提供新途径。

5 讨论

我国在化肥减量增效等相关政策的影响下,尤其是 2015 年“化肥零增长”行动实施以来,化肥用量逐年降低,但与国际化肥安全施用量上限 225 kg/hm²相比还有很大差距^[21]。目前,有机肥替代部分化肥及绿肥间作还田技术均是绿色高效施肥的重要举措,能提高作物产量,改善品质。李超等^[22]研究表明,60%有机肥替代化学氮肥的马铃薯产量及氮素利用率均高于 100%氮肥处理。原因可能是 100%氮肥处理前期保证了充足的氮素供应水平,后期的氮素供应低于有机肥替代化肥氮处理。本研究发现,有机肥替代化肥氮处理及绿肥间作还田处理的马铃薯产量及氮素利用效率均高于 100%化肥氮处理,100%化肥氮处理的经济系数最低,单株结薯个数最多,商品薯率最低,可能因为 100%化肥氮处理均为速效养分,更有利于茎叶生长,在生长前期被快速吸收,而有机肥替代和绿肥还田的缓释氮素养分更多,对马铃薯呈现持久长效的影响,后面的块茎膨大期体现优势。付强等^[23]研究指出,在西北半干旱区全膜覆盖垄播栽培条件下,36%~46%有机肥等氮量替代化肥是马铃薯种植中的最佳施肥比例。这与本研究结果相似,本研究中 40%有机肥等氮量替代化肥与绿肥间作还田是最优的马铃薯施肥方案,不同的是本研究无全膜覆盖且增加了绿肥间作还田因素。

目前,将绿肥间作还田和有机肥氮替代共同作为影响因子的研究鲜见报道,关于绿肥替代氮肥、绿肥间作还田的相关研究多见于玉米、甘蔗、小麦、果树等比绿肥高大的作物上。陶海宁^[24]的研究发现,豆科绿肥箭筈豌豆还田提高冬小麦籽粒产量 14.3%。本研究有相似发现,绿肥间作还田配合

100%氮肥处理比马铃薯单作 100%氮肥处理增产 25.1%。可能是因为豆科绿肥的根瘤菌具固定了空气中的氮,且翻压还田亦增加了氮素,因此比马铃薯单作增加了氮素总量,Liu Rui 等^[25]的研究中提到豆科绿肥间作为玉米氮素积累贡献 5.9%~37.0%,与本研究理论基础相似。此外,在绿肥间作还田与有机肥氮替代协同作用的处理中(除 CK 和 L4 外),随着有机肥氮替代量的增加,马铃薯产量呈现增加趋势,但此规律仅限于氮替代量在 20%~40%的范围内。

大田作物产量影响因素较多,需多年多点做综合性大量验证研究,若要进一步了解其内在机理及影响效果,可在此基础上作优化设计并连续多年多点综合开展针对马铃薯生长发育及品质、土壤结构与养分等方面的试验研究。

参 考 文 献:

- [1] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004(4):656-660.
- [2] 张锋.中国化肥投入的面源污染问题研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [3] 段玉,安德宝,赵沛义,等.马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J].中国马铃薯,2008(4):197-200.
- [4] 张春燕,方玉川,张艳艳,等.榆林市马铃薯产业现状及绿色发展对策[C].榆林:2021年第二十三届中国马铃薯大会.2021:23-26.
- [5] 叶庆隆,杨辉,陈占飞.榆林马铃薯[M].北京:中国农业出版社,2021.
- [6] 刘兆辉,薄录吉,李彦,等.氮肥减量施用技术及其对作物产量和生态环境的影响综述[J].中国土壤与肥料,2016(4):1-8.
- [7] 娄菲,左恽平,李萌,等.有机肥替代部分化肥氮对糯玉米产量、品质及氮素利用的影响[J].作物学报,2024,50(4):1053-1064.
- [8] 张玲,曹环,刘平.有机肥等氮量替代尿素对小麦产量及氮肥利用效率的影响[J].现代农业科技,2023(20):1-3+7.
- [9] 赵娜,王小利,何进,等.有机肥替代化学氮肥对土壤活性有机碳组分、酶活性及作物产量的影响[J].环境科学,2024(7):4196-4205.
- [10] 刘寒双,崔纪菡,刘猛,等.有机肥替代部分化肥对谷子产量、土壤养分及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2022(7):71-81.
- [11] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等.有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J].中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
- [12] 陈志龙,陈杰,许建平,等.有机肥氮替代部分化

- 肥氮对小麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 55-57.
- [13] 石鑫蕊,任彬彬,江琳琳,等. 有机肥替代部分化肥对水稻光合速率、氮素利用率和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 154-162.
- [14] 令狐丹丹,施成. 浅析种植绿肥在丰富土壤肥力方面的作用[J]. 种子科技, 2018, 36(4): 82.
- [15] 王鹤桥,咸顺南. 豆科、禾本科绿肥对培肥增产作用的研究[J]. 土壤肥料, 1985(4): 37-39.
- [16] 王贞元,冶瑞,赵劲飞,等. 种植绿肥对土壤性状改良的研究进展[J]. 北方果树, 2023(1): 1-5.
- [17] Shaokun S, Lin L, Qi Y, *et al.* Effect of in situ incorporation of three types of green manure on soil quality, grain yield and 2-acetyl-1-pyrroline content in tropical region[J]. *Crop and Environment*, 2022, 1(3): 189-197.
- [18] 莫璋红,谢金兰,林丽,等. 减量施氮间作豆科绿肥压青对甘蔗农艺性状及产质量的影响[J]. 现代农业科技, 2023(20): 38-42+46.
- [19] 黄武龙,黄朝富,潘秀玲. 适宜绿肥压青量与化肥配施对水稻产量的影响[J]. 广西农学报, 2002(1): 6-9.
- [20] 赖朝考. 水稻种植绿肥压青还田减肥试验[J]. 南方农业, 2023, 17(19): 101-102+108.
- [21] 徐兴家. 对化肥的再认识及其发展趋势[J]. 化工管理, 2022(7): 73-76.
- [22] 李超,赵国鼎,李利,等. 有机肥替代氮肥对马铃薯氮素吸收利用及土壤氮素供应的影响[J]. 天津农业科学, 2023, 29(S1): 116-122.
- [23] 付强,张平良,刘晓伟,等. 有机肥替代部分化肥对半干旱区马铃薯产量、水分和氮素利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(10): 1-9.
- [24] 陶海宁. 箭筈豌豆和油菜绿肥还田分解规律及对后茬冬小麦产量和土壤碳氮的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [25] Rui L, Guo-peng Z, Dan-na C, *et al.* Transfer characteristics of nitrogen fixed by leguminous green manure crops when intercropped with maize in northwestern China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2022, 21(4): 1 177-1 187.

(上接第 77 页)

- [13] 张艳,张峰,黄阳国. 油菜根肿病防治试验及示范[J]. 基层农技推广, 2023, 11(9): 27-31.
- [14] 王新月. 太白高山地区十字花科蔬菜根肿病菌生理小种鉴定及品种抗性筛选[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [15] 张振兰,李永红,李建厂,等. 不同油菜品种对陕西省根肿菌的抗性鉴定与评价[J]. 福建农业学报, 2019, 34(5): 581-586.
- [16] 费维新, HWANG Sheau-fang, 王淑芬, 等. 根肿菌生理小种鉴定与甘蓝型油菜品种资源的抗性评价[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 626-639.
- [17] 王燕燕, 杨植全, 杨庆勇, 等. 油菜根肿病抗性遗传改良与应用[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(2): 1-5.
- [18] 韩定丽, 王亚娟, 刘朝安. 汉中市勉县油菜推广品种现状分析及发展建议[J]. 基层农技推广, 2023, 11(8): 135-138.
- [19] HATAKEYAMA K, SUWABE K, TOMITA R N, *et al.* Identification and characterization of Crr1a, a gene for resistance to clubroot disease (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) in *Brassica rapa* L. [J]. *Plos One*, 2013, 7(1): 1-10.
- [20] 王燕燕, 杨植全, 杨庆勇, 等. 油菜根肿病抗性遗传改良与应用[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(2): 1-5.
- [21] 朱菲, 姚永成, 潘光大, 等. 汉中市南郑区平川油菜根肿病防治试验[J]. 现代农业科技, 2023, 53(7): 95-97.
- [22] 关周博, 董育红, 张忠鑫, 等. 抗根肿病油菜新品种秦优 DK4 的选育[J]. 中国种业, 2023, 43(11): 139-141.
- [23] 江莹芬, 战宗祥, 朴钟云, 等. 油菜抗根肿病资源创新与利用的研究进展与展望[J]. 作物学报, 2018, 44(11): 1 592-1 599.
- [24] Huang Z, Peng G, Gossen B D, *et al.* Fine mapping of a clubroot resistance gene from turnip using SNP markers identified from bulked [J]. *Molecular Breeding*, 2019, 39(9): 131-140.
- [25] Chang A, Lamara M, Wei Y, *et al.* Clubroot resistance gene Rcr6 in *Brassica nigra* resides in a genomic region homologous to chromosome A08 in *B. rapa* [J]. *Plant biology*, 2019, 19(1): 224-235.
- [26] Gan C X, Deng X H, Cui L, *et al.* Construction of a high-density genetic linkage map and identification of quantitative trait loci associated with clubroot resistance in radish (*Raphanus sativus* L.) [J]. *Molecular breeding*, 2019, 39(8): 116-127.