

不同肥料配施对油莎豆产量和品质的影响

刘佳遥, 曹嘉芮, 龙威, 王靓, 程艳, 魏尊苗*

(吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)经济植物研究所, 长春 130033)

摘要:为明确不同肥料配施对油莎豆产量与品质的影响,本研究于2021年和2022年以‘吉莎2号’为材料,分析氮磷钾肥配施对油莎豆株高、地上部干鲜重、产量、品质和肥料利用率的影响。结果表明,两年油莎豆株高在 N_4 处理时最高,分别高于CK 49.16%和50.72%,氮肥对株高影响较大;油莎豆分蘖数随着施氮量增加而增加,随着磷、钾肥施用量的增加分蘖数呈先升高后下降趋势;氮肥对粗蛋白含量的影响大于磷钾肥;油莎豆百粒重受钾肥影响大,磷肥对油莎豆产量影响最为显著,两年籽粒产量与CK相比分别增产142.83%和130.75%,同时,磷肥农学利用率在 P_2O_5 150 kg/hm²条件下达到最大。

关键词:油莎豆;施肥;产量;品质;肥料利用率

中图分类号:S565.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)06-0064-09

Effects of Combined Application of Different Fertilizers on Yield and Quality of Tiger Nut

LIU Jiayao, CAO Jiarui, LONG Wei, WANG Liang, CHENG Yan, WEI Zunmiao*

(Economic Plant Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun 130033, China)

Abstract: In order to determine the effects of different fertilizer combinations on the yield and quality of tiger nut, the effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on plant height, above-ground dry and fresh weight, yield, quality and fertilizer utilization rate of tiger nut were analyzed in 2021 and 2022 using 'Jisha No. 2' as the test material. The results showed that the plant height was the highest in N_4 treatment, which was 49.16% and 50.72% higher than CK. The number of tillers in tiger nut increased with the increase of nitrogen application, and showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of phosphorus and potassium fertilizer application. The effect of nitrogen fertilizer on crude protein content was greater than that of phosphorus and potassium fertilizer, and the range of changes in crude protein content was relatively larger than that of nitrogen and potassium fertilizer. The 100-grain weight was greatly influenced by potassium fertilizer, and phosphate fertilizers had the most significant effect on the yield of tiger nut compared with CK, the grain yield increased by 142.83% and 130.75% in the two years, respectively. Meanwhile, the agronomic utilization rate of phosphate fertilizer reached the maximum under P_2O_5 150 kg/ha.

Key words: Tiger nut; Fertilizer application; Yield; Quality; Fertilizer utilization rate

油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)又名油莎草,是被子植物门、单子叶植物纲、莎草目、莎草科、莎草属植物^[1-2]。油莎豆是集油、粮、牧、饲于一体的

经济作物,富含脂肪、淀粉、糖、维生素和矿物质^[3],因此又被称为“地下核桃”“油料之王”^[4]。油莎豆原产于非洲,地下结果的特性决定其适宜在沙土种植,是防风固沙、增加土壤肥力及提高边际土地利用率的理想作物^[5]。中国先后于1952年和1960年将油莎豆作为解决粮油短缺问题的油料作物,分别从前苏联和保加利亚引种栽培,现主要种植于中国华北、西北及东北的土壤沙化地区^[6-7]。

施肥作为重要的农业措施之一,可以为作物

收稿日期:2024-11-25

基金项目:吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2023RCG018, CXGC2023RCB005);国家重点研发计划项目(2019YFD1002603)

作者简介:刘佳遥(1995-),男,助理研究员,硕士,从事油莎豆栽培育种研究。

通信作者:魏尊苗, E-mail: miaomiao0825@126.com

的生长发育提供养分,提高作物的产量与品质。油莎豆作为近年来大力推广的经济作物,在国内相关的研究报道较少,现有的油莎豆栽培种植技术缺乏规范性,肥料配施方法更多的是参照邻近作物和农民的种植经验。合理配施氮磷钾肥是油莎豆高产、构建栽培种植体系所需要解决的重要问题之一,本试验以‘吉莎2号’为材料,研究不同氮磷钾肥配施方案对油莎豆产量与品质的影响,以期合理配施氮磷钾肥提供参考,进而为油莎豆高产栽培种植体系建立提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于2021—2022年在吉林省公主岭市(125°08' N,44°11' E)进行,供试土壤为沙壤土,pH值6.5,土壤可溶性盐浓度0.3 mS/cm,有机质含量26.8 g/kg,铵态氮含量38.73 mg/kg,硝态氮含量31.28 mg/kg,有效磷含量31.54 mg/kg,速效钾含量340.83 mg/kg。供试油莎豆品种为‘吉莎2号’,由吉林省农业科学院经济植物研究所提供。供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 45%)、硫酸钾(K₂O 50%)。

1.2 试验设计

试验共设19个处理,如表1所示。采用穴播,

表1 田间试验方案 kg/hm²
Table 1 Field trial scheme

| 配施区 Treatment area | 处理 Treatment | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|-----------------------|-----------------|-----|-------------------------------|------------------|
| 对照区 | CK | 0 | 0 | 0 |
| 低磷钾配施区 | N ₀ | 0 | 50 | 50 |
| | N ₁ | 50 | 50 | 50 |
| | N ₂ | 125 | 50 | 50 |
| | N ₃ | 200 | 50 | 50 |
| | N ₄ | 275 | 50 | 50 |
| | N ₅ | 350 | 50 | 50 |
| 低氮钾配施区 | P ₀ | 100 | 0 | 50 |
| | P ₁ | 100 | 50 | 50 |
| | P ₂ | 100 | 100 | 50 |
| | P ₃ | 100 | 150 | 50 |
| | P ₄ | 100 | 200 | 50 |
| | P ₅ | 100 | 250 | 50 |
| 低氮磷配施区 | K ₀ | 100 | 50 | 0 |
| | K ₁ | 100 | 50 | 50 |
| | K ₂ | 100 | 50 | 100 |
| | K ₃ | 100 | 50 | 150 |
| | K ₄ | 100 | 50 | 200 |
| | K ₅ | 100 | 50 | 250 |

行距65 cm,株距10 cm,每个处理设3次重复,每个重复3条垄,垄长10 m。播种前肥料一次性施入,采用随机区组设计。于5月中旬播种,9月下旬收获,除施肥条件不同外,其余田间管理均相同。

1.3 测定项目和方 法

收获时,每个处理选取长势均匀的5株油莎豆测定株高、地上部干鲜重、产量。测产时去掉小区两边植株,进行实收测产,重复3次;测定各处理块茎百粒重、脂肪含量、粗蛋白含量、淀粉含量、糖含量。采用凯氏定氮法测定油莎豆块茎中粗蛋白含量,采用旋光法测定块茎中淀粉含量,采用蒽酮比色法测定块茎中总糖含量,采用索氏提取法测定块茎中粗脂肪含量^[8-9]。

肥料利用率计算公式:氮(磷钾)肥偏生产力(kg/kg)=施氮(磷钾)处理产量/施氮(磷钾)量;氮(磷钾)肥农学利用率(kg/kg)=(施氮(磷钾)处理产量-不施氮(磷钾)处理产量)/施氮(磷钾)量^[10-11]。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2016软件进行数据整理和图表绘制;利用SPSS 20.0软件进行方差分析,数据间比较采用最小显著差异法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配施对油莎豆株高的影响

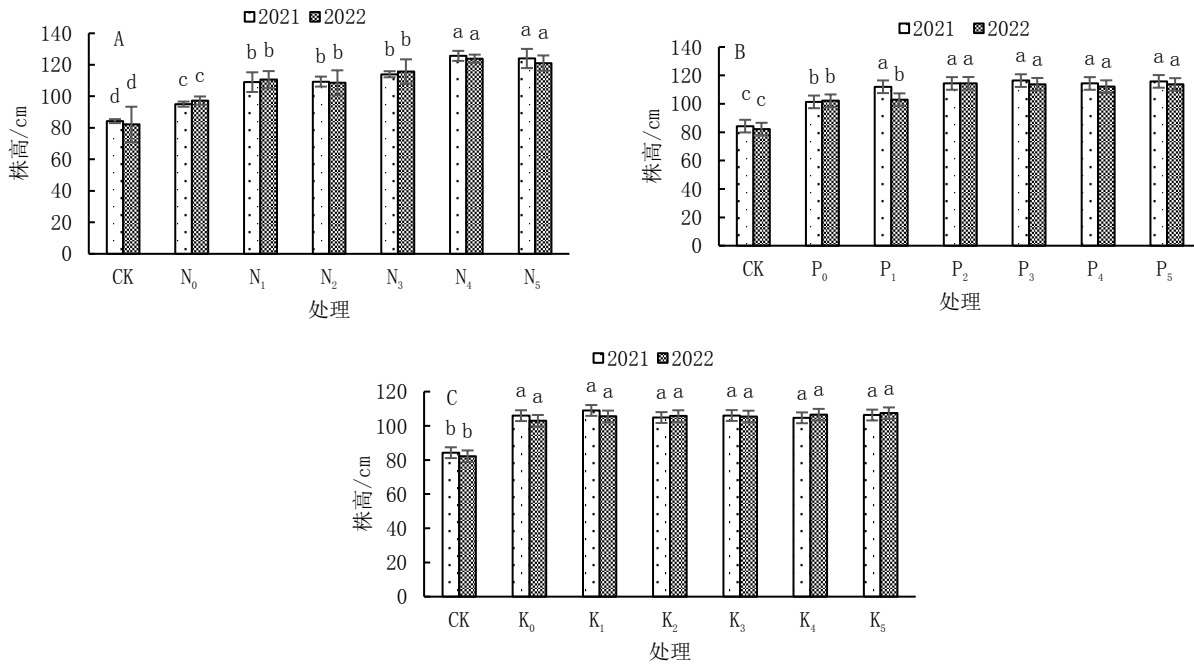
由图1可知,在不同肥料配施条件下,油莎豆的株高均显著高于CK,两年N₄处理株高最高,分别较CK高49.16%和50.72%。在低磷钾肥配施条件下,两年N₄、N₅处理株高显著高于其他处理(图1A);在低氮钾肥配施条件下,2021年P₁、P₂、P₃、P₄、P₅处理株高均显著高于CK和P₀处理,2022年P₂、P₃、P₄、P₅处理株高均显著高于CK、P₀、P₁处理(图1B);在低氮磷肥配施条件下,两年K₁处理的植株最高,各处理与CK差异显著(图1C)。

2.2 不同肥料配施对油莎豆分蘖数的影响

由图2可知,在不同肥料配施条件下,油莎豆分蘖数均显著高于CK。分蘖数随着施氮量增加而增加,N₄、N₅处理达到最高,显著高于其他处理(图2A);在低氮钾肥配施条件下,P₂、P₃处理油莎豆分蘖数显著高于其他处理,且两者间差异不显著,分蘖数随着施磷量的增加呈先升高后下降趋势(图2B);在低氮磷配施条件下,油莎豆分蘖数K₂处理最高,随着施钾量的增加呈现先升高后下降趋势(图2C)。

2.3 不同肥料配施对油莎豆植株地上部干鲜重的影响

由图3、图4可知,在不同氮磷钾肥配施条件



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$), the same below.

图1 不同肥料配施对油莎豆株高的影响

Fig. 1 Effect of different fertilizer application on plant height of tiger nut

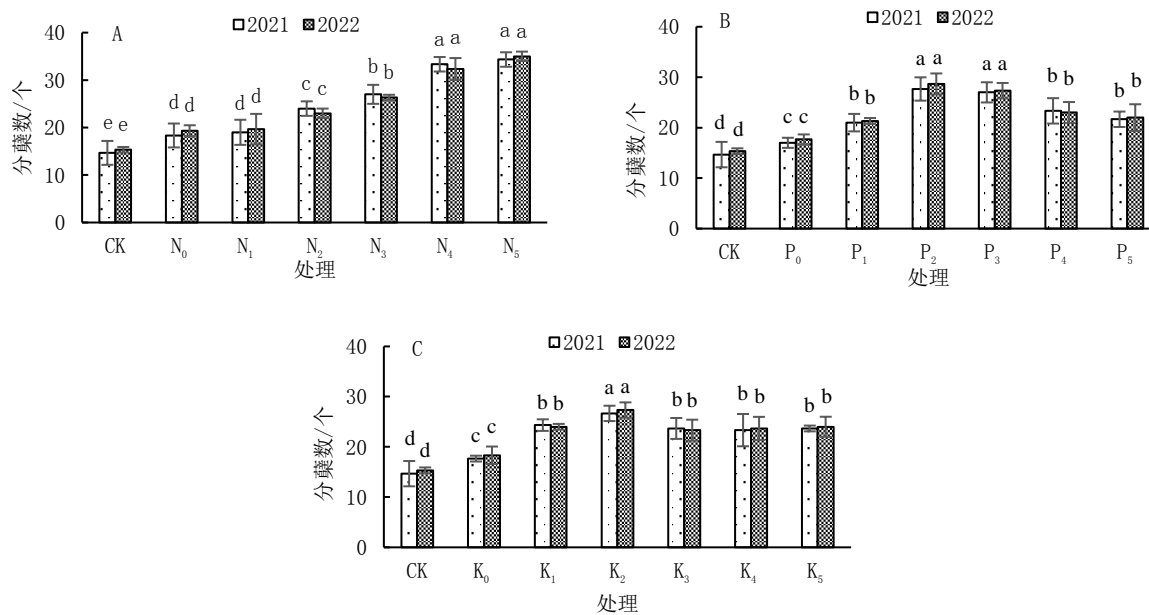


图2 不同肥料配施对油莎豆分蘖数的影响

Fig. 2 Effect of different fertilizer application on tiller number of tiger nut

下,油莎豆地上部干鲜重CK显著低于其他处理。在低磷钾肥配施条件下,N₅处理植株地上部干鲜重最大,分别为240.359 g、238.515 g和630.53 g、623.70 g(图3A、图4A);在低氮钾肥配施条件下,2021年和2022年P₂处理地上部干鲜重最大,分别为223.47 g、217.55 g和558.67 g、552.21 g(图3B、图4B);在低氮磷肥配施条件下,2021年和2022年K₂

处理地上部植株鲜重最大,分别为574.88 g、575.97 g(图4C)。两年油莎豆植株地上部干鲜重最大值的表现为:低氮磷区<低氮钾区<低磷钾区。

2.4 不同肥料配施对油莎豆产量的影响

由表2可知,2021年和2022年油莎豆百粒重和产量均为CK最低,百粒重分别为64.56 g和65.96 g;产量分别为3 861.54 kg/hm²和3 969.23 kg/hm²。低

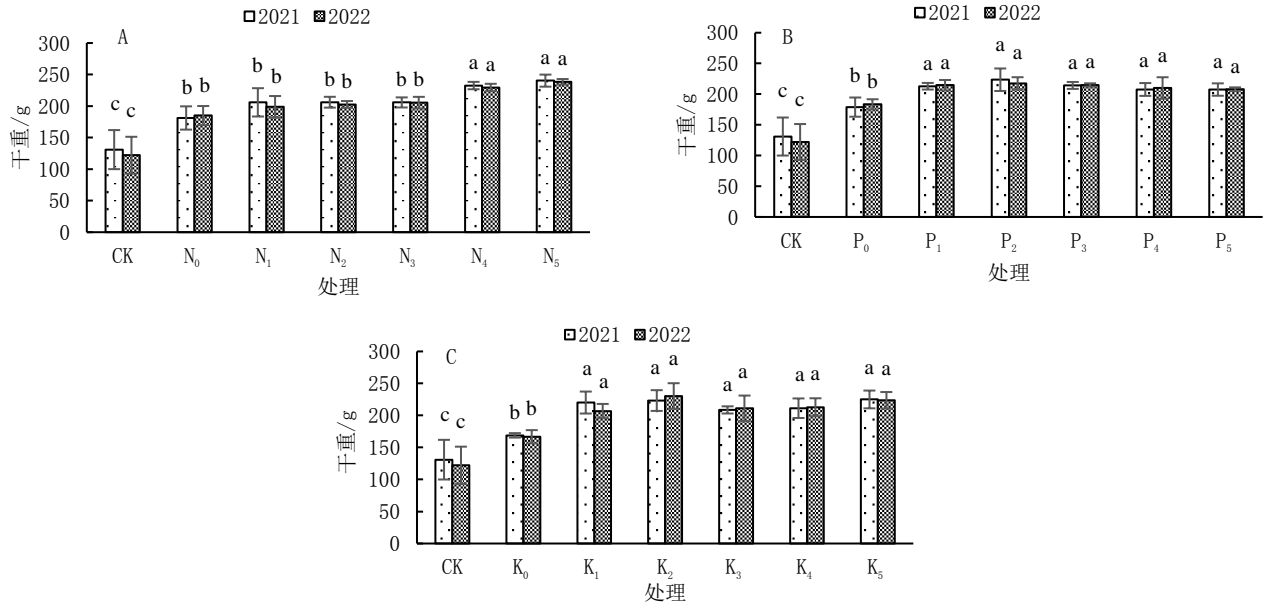


图3 不同肥料配施对油莎豆地上部干重的影响

Fig. 3 Effects of different fertilizer application on above-ground dry weight of tiger nut

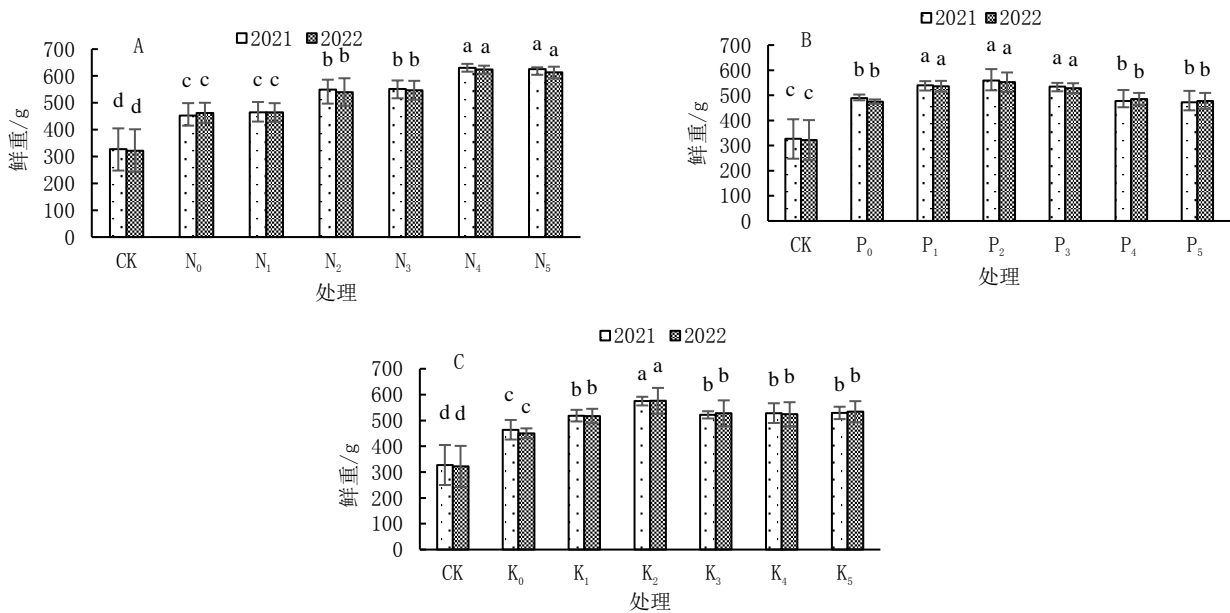


图4 不同肥料配施对油莎豆地上部鲜重的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizer application on fresh weight of the above ground part of tiger nut

磷钾肥配施条件下, N₄处理百粒重最大,分别为82.15 g和83.26 g;低氮钾肥配施条件下, P₃处理百粒重最大,分别为78.38 g和79.93 g;低氮磷肥配施条件下, K₃处理百粒重最大,分别为84.32 g和84.71 g。不同氮磷钾配施条件下,百粒重较CK均差异显著。

在低磷钾肥配施条件下,2021年与2022年N₄处理产量最高,比CK分别增产120.45%和112.73%;在低氮钾肥配施条件下,2021年与2022年各处理产量显著高于CK,P₃处理最高,产量比CK分别增产142.83%和130.75%;在低氮磷肥配施条

件下,2021年和2022年K₃处理产量最高,与CK差异显著,分别比CK增产129.28%和121.90%(表2)。

2.5 不同肥料配施对油莎豆品质的影响

由表3可知,油莎豆粗脂肪含量、粗蛋白含量和总糖含量在各处理条件下均高于CK,2021年K₂处理粗脂肪含量最高,相较于CK增加31.51%,2022年N₂处理和K₂处理粗脂肪含量较高,比CK分别增加26.31%和26.17%。油莎豆的粗脂肪含量在3种肥料配施条件下,均在一定范围内受氮磷钾肥施用量的影响。两年的粗蛋白含量在N₃处理下最高,比CK分别增加117.30%和104.71%。

表2 不同氮磷钾肥配施对油莎豆产量的影响

Table 2 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on yield

| 处理 Treatment | 百粒重/g 100-grain weight | | 产量/kg·hm ⁻² Grain yield | |
|-----------------|---------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------|
| | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 |
| | CK | 64.56±4.31e | 65.96±3.99e | 3 861.54±87.37f |
| N ₀ | 72.46±0.79cd | 72.88±0.27cd | 5 679.49±150.02e | 5 510.26±277.52e |
| N ₁ | 73.03±2.69cd | 73.44±2.46cd | 6 364.10±617.03de | 6 417.95±133.75de |
| N ₂ | 75.40±6.64bc | 76.12±1.72bc | 7 274.36±546.44cd | 7 389.74±450.20c |
| N ₃ | 78.87±2.60b | 79.34±3.74b | 8 043.59±752.21bc | 8 100.00±266.58b |
| N ₄ | 82.15±3.51a | 83.26±1.37a | 8 512.82±963.73b | 8 443.59±712.58ab |
| N ₅ | 74.49±2.68c | 75.15±2.18c | 8 397.43±522.25b | 8 225.64±854.86b |
| P ₀ | 70.10±5.12d | 71.12±3.31cd | 6 825.64±532.62d | 6 710.26±415.41d |
| P ₁ | 74.18±1.39c | 73.20±1.91c | 7 451.28±373.08c | 7 361.54±521.89c |
| P ₂ | 76.84±2.16bc | 77.24±4.14bc | 8 451.28±597.35b | 8 425.64±544.71ab |
| P ₃ | 78.38±1.95b | 79.93±6.02b | 9 376.92±498.34a | 9 158.97±411.18a |
| P ₄ | 74.09±4.07c | 75.06±3.56c | 8 112.82±324.02bc | 8 330.77±434.05b |
| P ₅ | 70.72±3.25d | 70.61±4.36d | 7 635.90±332.67c | 7 520.51±650.09c |
| K ₀ | 70.01±4.31d | 70.53±2.18d | 5 964.10±430.38e | 6 076.92±516.76g |
| K ₁ | 73.16±7.21c | 74.04±4.26c | 7 115.38±692.31cd | 7 130.77±539.61cd |
| K ₂ | 78.70±6.26b | 79.66±2.81b | 8 230.77±356.10bc | 8 110.26±188.79b |
| K ₃ | 84.32±3.95a | 84.71±4.38a | 8 853.85±654.12ab | 8 807.69±874.73ab |
| K ₄ | 74.53±1.76c | 75.08±1.70c | 8 074.36±436.32bc | 8 171.79±311.55b |
| K ₅ | 69.19±3.12d | 70.78±3.17d | 7 405.13±652.37c | 7 282.05±446.57c |

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$), the same below.

表3 不同氮磷钾肥配施对油莎豆品质的影响

Table 3 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on quality

%

| 处理 Treatment | 粗脂肪含量 Crude fat content | | 粗蛋白含量 Crude protein content | | 总糖含量 Total sugar content | |
|-----------------|----------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 |
| | CK | 21.36±0.80f | 22.16±0.95c | 1.85±0.32f | 1.91±0.27h | 17.17±0.98e |
| N ₀ | 23.27±1.84ef | 24.36±1.35bc | 2.21±0.18ef | 2.09±0.25gh | 21.88±1.16abcd | 21.41±1.03abc |
| N ₁ | 25.84±0.97abc | 26.26±1.82ab | 2.64±0.25de | 2.51±0.28defg | 22.37±1.60abc | 22.27±1.47abc |
| N ₂ | 27.04±1.08abc | 27.99±2.27a | 3.07±0.18cd | 2.82±0.14cde | 23.68±0.85abc | 24.10±1.18a |
| N ₃ | 26.68±1.14abc | 27.46±1.27ab | 4.02±0.41a | 3.91±0.27a | 23.11±1.46abc | 23.29±1.46abc |
| N ₄ | 24.73±1.34cde | 25.33±1.17ab | 3.30±0.31bc | 3.31±0.37bc | 22.31±1.03abc | 22.85±1.45abc |
| N ₅ | 23.43±0.61def | 24.33±1.19bc | 2.58±0.21de | 2.92±0.28bcd | 21.17±1.20cd | 21.35±1.08abc |
| P ₀ | 24.78±0.44cde | 24.94±1.47abc | 2.36±0.34ef | 2.32±0.35efgh | 22.72±0.74abc | 22.51±0.97abc |
| P ₁ | 26.39±0.58abc | 25.45±0.59ab | 2.76±0.36de | 2.65±0.24cdef | 23.68±0.12abc | 23.38±1.01abc |
| P ₂ | 26.46±0.59abc | 25.78±1.16ab | 2.93±0.29cd | 2.97±0.17bcd | 24.35±0.59a | 24.19±1.34a |
| P ₃ | 27.51±0.98ab | 27.36±0.91ab | 2.56±0.25de | 2.60±0.07cdef | 22.34±0.80abc | 23.60±1.92abc |
| P ₄ | 25.94±1.53abc | 26.54±2.86ab | 2.41±0.31ef | 2.35±0.32efgh | 22.07±1.03abcd | 22.95±2.06abc |
| P ₅ | 25.54±0.44bcd | 26.21±1.20ab | 2.18±0.17ef | 2.22±0.32fgh | 19.47±1.19de | 21.03±0.77abc |
| K ₀ | 24.93±1.20cde | 25.72±0.75ab | 2.17±0.14ef | 2.06±0.16gh | 21.51±1.00bcd | 20.74±1.41c |
| K ₁ | 25.61±0.72bcd | 26.17±1.27ab | 2.41±0.12e | 2.31±0.14efgh | 22.80±1.54abc | 21.97±1.53abc |

续表3

Table 3 Continued

| 处理 Treatment | 粗脂肪含量 Crude fat content | | 粗蛋白含量 Crude protein content | | 总糖含量 Total sugar content | |
|-----------------|----------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 |
| | K ₂ | 28.09±0.53a | 27.96±0.54a | 2.53±0.15de | 2.48±0.12defg | 24.24±1.61ab |
| K ₃ | 27.65±0.80ab | 27.40±0.88ab | 2.72±0.15de | 2.61±0.14cdef | 22.63±1.93abc | 23.00±0.97abc |
| K ₄ | 25.64±0.49bcd | 26.24±0.79ab | 2.43±0.13ef | 2.28±0.12efgh | 21.51±0.63bcd | 21.09±1.64abc |
| K ₅ | 24.96±1.08cde | 24.84±1.00abc | 2.23±0.13ef | 2.14±0.21gh | 20.97±0.96cd | 20.88±1.07bc |

油莎豆在低磷钾肥配施条件下,改变氮肥施用量对粗蛋白含量的影响显著大于改变磷钾肥用量的处理。总糖含量2021年P₂处理最高,比CK增加41.23%,2022年的总糖含量N₂和P₂处理最高,分别比CK增加27.98%和30.30%。

2.6 不同肥料配施对肥料利用率的影响

由表4可知,2021年和2022年的氮肥偏生产力分别为23.26~126.16 kg/kg和22.77~127.59 kg/kg,两年氮肥偏生产力均为N₁处理最高,N₅处理最低,在低磷钾肥配施条件下氮肥偏生产力随氮肥施用量的增加呈下降趋势。2021年和2022年的磷肥偏生产力

分别为27.77~177.08 kg/kg和27.35~176.15 kg/kg,两年磷肥偏生产力均为K₃处理最高,P₅处理最低。2021年和2022年的钾肥偏生产力分别为29.62~183.95 kg/kg和29.13~182.62 kg/kg,油莎豆两年钾肥偏生产力均为P₃处理最高,K₅处理最低。

由表5可知,2021年和2022年氮肥农学利用率均为N₁处理最大,分别为14.21 kg/kg和17.38 kg/kg;两年磷肥农学利用率均为P₃处理最大,分别为13.55 kg/kg和13.17 kg/kg;两年钾肥农学利用率均为K₁处理最大,分别为23.03 kg/kg和21.08 kg/kg。

表4 不同氮磷钾肥配施对偏生产力的影响

kg/kg

Table 4 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on partial productivity

| 处理 Treatment | N肥偏生产力 Partial productivity of N fertilizer | | P肥偏生产力 Partial productivity of P fertilizer | | K肥偏生产力 Partial productivity of K fertilizer | |
|-----------------|--|--------------|--|---------------|--|--------------------------|
| | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 |
| | CK | - | - | - | - | - |
| N ₀ | - | - | 112.05±2.28g | 110.21±5.55gh | 112.05±2.28 ^h | 110.21±5.55 ^h |
| N ₁ | 126.16±3.80a | 127.59±6.36a | 126.26±3.80ef | 127.59±6.36fg | 126.26±3.80g | 127.59±6.36g |
| N ₂ | 58.85±2.55h | 58.28±3.16hi | 147.13±6.38cd | 145.69±7.90d | 147.13±6.38ef | 145.69±7.90ef |
| N ₃ | 39.96±2.42i | 40.24±1.94j | 159.85±9.67bc | 160.97±7.76bc | 159.85±6.67bc | 160.97±7.76bc |
| N ₄ | 30.75±0.90j | 30.70±1.38k | 169.13±4.98ab | 168.87±7.59ab | 169.13±4.98b | 168.87±7.59b |
| N ₅ | 23.26±0.78k | 22.77±0.99l | 162.82±5.44bc | 159.38±6.94bc | 162.82±5.44bc | 159.38±6.94bc |
| P ₀ | 68.26±3.80g | 64.54±4.58g | - | - | 136.51±7.60fg | 129.08±9.17g |
| P ₁ | 74.92±2.11e | 72.95±2.41de | 99.90±4.23h | 97.26±4.83i | 149.85±4.23ef | 144.87±4.83ef |
| P ₂ | 84.77±4.07cd | 81.95±4.45d | 67.82±4.07i | 65.56±4.45j | 169.54±8.13b | 163.90±8.90bc |
| P ₃ | 91.97±4.88b | 91.31±4.51b | 52.56±3.25j | 52.18±3.01k | 183.95±9.76a | 182.62±9.02a |
| P ₄ | 81.13±2.33d | 83.31±4.22cd | 36.06±1.16k | 37.03±2.11l | 162.26±4.66bc | 166.62±8.44b |
| P ₅ | 76.36±2.71e | 75.21±1.76e | 27.77±1.08l | 27.35±0.71m | 152.72±5.41de | 150.41±3.53de |
| K ₀ | 59.64±3.22h | 60.77±4.72h | 119.28±6.44ef | 121.54±9.44fg | - | - |
| K ₁ | 71.15±1.95ef | 71.31±2.26ef | 142.31±3.90d | 142.62±4.52de | 142.31±3.90f | 142.62±4.52f |
| K ₂ | 82.23±2.91d | 81.10±4.62d | 164.64±5.82bc | 162.21±9.23bc | 82.31±2.91i | 81.10±4.62i |
| K ₃ | 88.54±2.86bc | 88.08±2.92bc | 177.08±5.72a | 176.15±5.84a | 59.03±1.91j | 58.72±1.95j |
| K ₄ | 80.74±1.82d | 81.72±1.40d | 161.49±3.65bc | 163.44±2.81bc | 40.37±0.91k | 40.86±0.70k |
| K ₅ | 74.05±1.58e | 72.82±0.80d | 148.10±3.16cd | 145.64±1.59d | 29.62±0.63l | 29.13±0.32l |

表5 不同氮磷钾肥配施对农学利用率的影响
Table 5 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on agricultural utilization

| 处理 Treatment | N肥农学利用率 Agricultural utilization rate of N fertilizer | | P肥农学利用率 Agricultural utilization rate of P fertilizer | | K肥农学利用率 Agricultural utilization rate of K fertilizer | |
|-----------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|
| | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 | 2021年 | 2022年 |
| | CK | - | - | - | - | - |
| N ₀ | - | - | - | - | - | - |
| N ₁ | 14.21±1.80a | 17.38±2.36a | - | - | - | - |
| N ₂ | 13.42±2.55ab | 12.14±2.16b | - | - | - | - |
| N ₃ | 11.95±1.42b | 12.69±1.94b | - | - | - | - |
| N ₄ | 10.38±0.90b | 10.67±1.38b | - | - | - | - |
| N ₅ | 7.25±0.78c | 7.03±0.99c | - | - | - | - |
| P ₀ | - | - | - | - | - | - |
| P ₁ | - | - | 8.89±1.23b | 6.26±0.83b | - | - |
| P ₂ | - | - | 13.21±1.07a | 10.95±1.45a | - | - |
| P ₃ | - | - | 13.55±1.25a | 13.17±1.01a | - | - |
| P ₄ | - | - | 5.72±0.86c | 6.69±0.91b | - | - |
| P ₅ | - | - | 2.95±0.28d | 2.53±0.31c | - | - |
| K ₀ | - | - | - | - | - | - |
| K ₁ | - | - | - | - | 23.03±1.90a | 21.08±2.52a |
| K ₂ | - | - | - | - | 22.67±2.37a | 20.33±2.62a |
| K ₃ | - | - | - | - | 19.26±1.91b | 18.21±1.95b |
| K ₄ | - | - | - | - | 10.55±0.91c | 10.47±0.70c |
| K ₅ | - | - | - | - | 5.76±0.63d | 4.82±0.32d |

3 讨论

作物的正常生长发育需要适宜的养分,良好的发育基础是提高产量的必要条件。合理配施氮磷钾肥可以改善作物自身营养状况,促进植株生长和发育。本研究发现在低磷钾肥配施、低氮钾肥配施和低氮磷肥配施条件下,油莎豆株高变化均随氮磷钾肥施用量增加呈增加趋势。油莎豆分蘖数随着施氮量增加而增加,随着磷、钾肥施用量的增加先增加后减少,可能较高的氮施入更有利于增加油莎豆分蘖数,从而提高地上部生物量,如果目标是块茎生产,则应更精准地施用氮肥,避免营养生长过度。研究发现,施用普通化肥时可以提高油莎豆的株高,合理增施氮肥也能够提高油莎豆的株高^[12-13],氮磷钾肥均能提高油莎豆的生物量,高氮处理有助于油莎豆地上部生物量的提高,而高钾处理有利于提高油莎豆根系的生物量。本研究发现,油莎豆干鲜重在各氮磷钾肥配施条件下均显著高于CK,在低氮钾肥配施和低磷钾肥配施条件下的地上部干鲜重最大值显

著高于低氮磷肥配施条件下最大值。

氮、磷、钾是作物生长所需的三大营养元素,合理配施氮磷钾肥可以为作物的生长发育提供养分支持,进一步提高作物产量,达到更高的经济效益^[14]。本研究发现氮磷钾肥均对油莎豆的百粒重和产量有一定的影响,且百粒重与产量随着氮磷钾肥施用量的增加呈先上升后下降的趋势,与杨敏等^[15]研究提出的肥料报酬递减规律相符合。油莎豆的百粒重受氮肥和钾肥的影响较大,受磷肥的影响相对较小,研究发现合理增施氮肥可以增加油莎豆的分蘖数、单株粒数、千粒重和产量^[16-17]。曹秭琦等^[10]研究表明,不同氮磷钾肥配施均能提高油莎豆产量,对磷肥的依赖度更高,与本研究结论相吻合,但在高钾条件下油莎豆千粒重和产量较高,与本研究结果有所差异,造成差异的原因可能是所选用的油莎豆品种、种植地土壤和气候条件、高钾条件下氮磷配比等不同。

油莎豆用途广泛,其地下块茎富含脂肪、淀粉和总糖,可用于酿酒、榨油和制糖等。氮、磷是作物细胞质、细胞核和各种酶的组成成分,钾对蛋

白质、脂肪、碳水化合物的合成有促进作用,因此,氮磷钾肥均会影响作物的品质^[18-19]。本研究发现,油莎豆品质受氮磷钾肥影响,油莎豆在低磷钾肥配施条件下,改变氮肥施用量对粗蛋白含量的影响显著大于改变磷钾肥施用量。合理配施氮肥可以提高油莎豆籽粒的产量与品质,总糖含量和脂肪含量随施氮量的增加呈先上升后下降的趋势^[20]。杨敏^[15]研究表明,配施磷肥和钾肥可以显著提高油莎豆产量与品质,磷钾肥均显著提高油莎豆籽粒的总糖含量和粗脂肪含量,磷肥也有利于油莎豆块茎淀粉的积累,均与本研究结论相符合。

肥料利用率是指作物吸收肥料养分的比率,反映肥料的利用程度,是衡量肥料施用合理性的重要指标,而肥料利用率可以根据偏生产力和农学利用率侧面反映^[21]。本研究发现油莎豆两年氮肥偏生产力均在低磷钾肥配施条件下的 N_1 (N 50 kg/hm², P_2O_5 50 kg/hm², K_2O 50 kg/hm²)处理达到最高值,最低值出现在 N_5 (N 350 kg/hm², P_2O_5 50 kg/hm², K_2O 50 kg/hm²)处理;两年磷肥偏生产力均为 K_3 (N 100 kg/hm², P_2O_5 50 kg/hm², K_2O 150 kg/hm²)处理最高, P_5 (N 100 kg/hm², P_2O_5 250 kg/hm², K_2O 50 kg/hm²)处理最低;两年钾肥偏生产力均为 P_3 (N 100 kg/hm², P_2O_5 150 kg/hm², K_2O 50 kg/hm²)处理最高, K_5 (N 100 kg/hm², P_2O_5 50 kg/hm², K_2O 250 kg/hm²)处理最低。氮肥和钾肥的农学利用率在低浓度配施条件下较高,两年磷肥的农学利用率在 P_5 (N 100 kg/hm², P_2O_5 150 kg/hm², K_2O 50 kg/hm²)处理达到最大值,表明油莎豆对磷肥需求量较大,同时,油莎豆氮磷钾肥偏生产力在低浓度配施下最高,且随着氮磷钾肥施用量的增加而降低。研究表明,作物施肥量与肥料利用率呈负相关^[22-25],平衡好肥料施用量与产量、品质间的关系,对提高肥料利用率至关重要。

4 结 论

不同肥料配施可以提高油莎豆株高、分蘖数、地上部干鲜重,氮肥和磷肥提高油莎豆株高的效果优于钾肥,磷肥对油莎豆地上部干鲜重的提升效果显著高于氮肥和钾肥。增施磷、钾肥可以显著提高油莎豆粗脂肪含量和总糖含量,增施氮肥可以有效提升粗蛋白含量。施用量与油莎豆产量的关系符合肥料报酬递减规律,磷肥施用量为150 kg/hm²时农学利用率最大,适量增施磷肥可以显著提高油莎豆产量。在种植油莎豆时可以适

量增施磷肥与合理配施氮、钾肥来提高产量、品质以及肥料利用率,达到最高的经济效益。

参考文献:

- [1] 李佳婷. 油莎豆的组织培养及多倍体诱导[D]. 广州:仲恺农业工程学院, 2019.
- [2] XUE B, TAO C, YUAN W, et al. Selection and validation of reference genes for qRT-PCR analysis in the oil-rich tuber crop tiger nut(*Cyperus esculentus*) based on transcriptome data[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(5): 2569.
- [3] 魏尊苗, 刘佳遥, 程艳, 等. 秋水仙素诱变对油莎豆出苗率及品质的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(11): 50-55. WEI Z M, LIU J Y, CHENG Y, et al. Effects of colchicine mutagenesis on seedling emergence rate and quality of Tigernut(*Cyperus esculentus*)[J]. Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(11): 50-55. (in Chinese)
- [4] OZCAN M M, GUMUSCU A, ER F, et al. Chemical and fatty acid composition of *Cyperus esculentus*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2010, 46: 276-277.
- [5] 张学昆. 我国油莎豆产业研发进展报告[J]. 中国农村科技, 2019(4): 67-69. ZHANG X K. Research and development progress report of China's oil bean industry[J]. China's Rural Science and Technology, 2019(4): 67-69. (in Chinese)
- [6] 刘佳遥, 王占海, 魏尊苗, 等. 不同秸秆生物炭对土壤质量及油莎豆生长的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(2): 72-77. LIU J Y, WANG Z H, WEI Z M, et al. Effects of different straw biochar on soil quality and growth of *Cyperus esculentus*[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2023, 48(2): 72-77. (in Chinese)
- [7] 刘佳遥, 程艳, 魏尊苗, 等. 外源激素对干旱胁迫下油莎豆生长、产量及生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(11): 42-49. LIU J Y, CHENG Y, WEI Z M, et al. Effects of exogenous Hormones on growth, yield and physiological characteristics of tigernut(*Cyperus esculentus*) under drought stress[J]. Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(11): 42-49. (in Chinese)
- [8] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术(第3版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2014: 80-85.
- [9] 李合生. 现代植物生理学(第3版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2012: 2-6.
- [10] 曹秭琦. 氮磷钾肥配施对油莎豆养分利用及产量品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2023.
- [11] 曹秭琦, 任永峰, 路战远, 等. 氮磷钾配施对油莎豆产量及肥料利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(2): 368-377. CAO Z Q, REN Y F, LU Z Y, et al. Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and fertilizer use efficiency of soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crops Sciences, 2023, 45(2): 368-377. (in Chinese)
- [12] 王聪, 马锐骛, 王斌, 等. 不同种植和管理方式对油莎豆叶片性状及地上地下生物量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(10): 104-110.

- WANG C, MA R A, WANG B, et al. Effects of different planting and management methods on leaf traits and aboveground and underground biomass of *Cyperus esculentus*[J]. Chinese Soil and Fertilizer, 2022(10): 104-110. (in Chinese)
- [13] 李晓兰,李瑞辉,尹慧来,等.氮磷钾配施对半干旱风沙区油莎豆产量构成因素的影响[J].农业与技术,2021,41(21): 13-17.
- LI X L, LI R H, YIN H L, et al. Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on yield components of *Cyperus esculentus* in semi-arid sandstorm area[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(21): 13-17. (in Chinese)
- [14] DIAS, ROSA P L. Relative efficiency of rock phosphates in fertilization of planting seedlings *Eucalyptus dunnii* Maiden and *Eucalyptus benthamii* Maiden et cambage in soil with and without liming[J]. Ciência Florestal, 2015, 25(1): 37-48.
- [15] 杨敏.新疆干旱气候区油莎豆对不同氮磷钾配施响应的研究[D].石河子:石河子大学,2013.
- [16] 沈庆雷.油莎豆高产优质栽培初步研究[D].扬州:扬州大学,2010.
- [17] 李博.吉林省黑土区油莎豆关键栽培技术研究[D].长春:吉林大学,2022.
- [18] 魏丹,李艳,李玉梅,等.氮磷钾元素对黑龙江不同地区大豆产量和品质的影响[J].大豆科学,2017,36(1):87-91.
- WEI D, LI Y, LI Y M, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and quality of soybean in different areas of Heilongjiang Province[J]. Soybean Science, 2017, 36(1): 87-91. (in Chinese)
- [19] 蒋龙刚,史建硕,郭丽,等.不同氮磷钾水平对夏大豆产量与品质的影响[J].大豆科学,2023,42(2):220-227.
- JIANG L G, SHI J S, GUO L, et al. Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium levels on yield and quality of summer soybean[J]. Soybean Science, 2023, 42(2): 220-227. (in Chinese)
- [20] 孙佳尧,李志刚,孟祥军,等.氮肥处理下油莎豆叶片生理特性和籽粒品质与产量相关研究[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2020,35(4):327-332.
- SUN J Y, LI Z G, MENG X J, et al. Study on physiological characteristics of soybean leaves and correlation between grain quality and yield under nitrogen fertilizer treatment[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities(Natural Science Edition), 2020, 35(4): 327-332. (in Chinese)
- [21] 杨琴.不同氮磷钾配比复合肥及施用量对马铃薯产量和肥料利用效率的影响[D].雅安:四川农业大学,2022.
- [22] 李慧杰,徐福利,林云,等.施用氮磷钾对黄土丘陵区山地红枣林土壤酶与土壤肥力的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):53-59.
- LI H J, XU F L, LIN Y, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium application on soil enzymes and soil fertility of mountain jujube forest in loess hilly region[J]. Agricultural Research in Dry Areas, 2012, 30(4): 53-59. (in Chinese)
- [23] 毕郑文.水肥一体化氮磷钾配施对沙地红枣生长特性与养分吸收利用的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [24] 刘佳遥,曹嘉芮,程艳,等.吉林省油莎豆产业发展现状及对策建议[J].农业科技管理,2023,42(6):52-55.
- LIU J Y, CAO J R, CHENG Y, et al. Current situation and countermeasures of *Cyperus esculentus* industry development in Jilin Province[J]. Management of Agricultural Science and Technology, 2023, 42(6): 52-55. (in Chinese)
- [25] TAO L, HONG J Y, TAN Y W, et al. Influence of the electrical conductivity of the nutrient solution in different phenological stages on the growth and yield of cherry tomato[J]. Horticulturae, 2022, 8(5): 378.

(责任编辑:范杰英)

(上接第44页)

- [44] 李汶璐,王志超,杨文焕,等.微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响[J].环境科学,2022,43(5):2606-2613.
- LI W L, WANG Z C, YANG W H, et al. Effects of microplastics on bacterial community composition and diversity in sediments [J]. Environmental Science, 2022, 43(5): 2606-2613. (in Chinese)
- [45] YU H, HOU J H, DANG Q L, et al. Decrease in bioavailability of soil heavy metals caused by the presence of microplastics varies across aggregate levels[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 395(C): 122690.
- [46] DONG Y M, GAO M L, QIU W W, et al. Effect of microplastics and arsenic on nutrients and microorganisms in rice rhizosphere soil[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 211(3): 111899.
- [47] 梁榕,孙飞虎,张弛,等.微塑料与土壤环境中微生物互作研究进展[J].生物工程学报,2023,39(2):500-515.
- LIANG R, SUN F H, ZHANG C, et al. Interaction between microplastics and microorganisms in soil environment: a review[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2023, 39(2): 500-515. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)