

磷肥用量对盐地条件下油菜干物质积累和分配的影响

刘荣¹, 尤晶晶², 郑经东², 王龙², 左青松^{2*}

(1. 光明食品集团上海川东农场有限公司种植业中心, 江苏大丰 225141; 2. 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009)

摘要 在江苏沿海滩涂试验田, 以秦优 10 号为试验材料, 设置 0、30、60、90、120 和 150 kg/hm² 6 个磷肥施用量水平, 研究盐地条件下磷肥用量对油菜各时期干物质积累和分配的影响。结果表明, 施用磷肥能显著增加各个时期不同器官的干物质积累量。其中根系的干物质积累量增加幅度最大。在苗期, 施用磷肥显著增加了干物质在根系中的分配比例, 但降低了其在叶片中的分配。在初花期, 施用磷肥显著增加了干物质在根系和叶片中的分配比例, 但降低其在茎秆中的分配。在成熟期, 施用磷肥显著增加了干物质在根系和籽粒中的分配比例, 降低了其在茎秆和果壳中的分配, 说明施磷肥可以促进油菜根系的生长发育, 良好的根系发育反之能够促进初花期的叶片生长, 最终促进养分向籽粒的运输, 从而达到增产的目的。推荐此区域的磷肥用量为 120 kg/hm²。

关键词 油菜; 盐地; 干物质; 积累; 分配

中图分类号 S 143.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)06-0132-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of P Rate on Biomass Accumulation and Partitioning of Canola (*Brassica napus* L.) in Saline Soil

LIU Rong¹, YOU Jing-jing², ZHENG Jing-dong² et al (1. Planting Center of Guangming Food Group Shanghai Chuandong Farm Co., Ltd., Dafeng, Jiangsu 225141; 2. Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract A field experiment was conducted to investigate the effects of P rate (0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg/hm²) on the biomass accumulation and partitioning of canola (*Brassica napus* L.) in saline soil. The results showed that P supply increased biomass accumulation in all organs at all the growth stages. The root had the most increment among different organs. At seedling stage, P supply increased the biomass partitioning in root but decreased this partitioning in leaf. At flowering stage, P supply increased the biomass partitioning in root and leaf but decreased these in stem. At maturity stage, P supply increased the biomass partitioning in root and seed but decreased these in stem and shell. These results suggested that P supply improved root growth, and in turn, great root system enhanced the leaf development at flowering stage, and finally improved the nutrient transporting to seed, resulting in increased seed yield. We recommended the P fertilizer at the rate of 120 kg/hm² in this saline soil.

Key words Canola; Saline soil; Biomass; Accumulation; Partitioning

目前, 世界上大量耕地面临盐碱化威胁, 土壤盐碱化已成为日益受关注的环境问题^[1]。盐碱土对植物的危害主要表现在盐离子对植物的直接毒害, 破坏渗透平衡使植物脱水, 破坏细胞膜完整性, 而植物通过形态结构变化如改变根冠比、离子吸收、渗透调节等方面对抗盐胁迫^[2-4]。油菜是我国主要的油料作物, 菜籽油的营养价值较高, 国产食用植物油中约 50% 来自菜籽油^[5-7], 因此, 大力发展油菜生产对我国食用油脂安全至关重要。江苏作为我国传统的油菜种植大省, 2000 年前后油菜种植面积超过 66.67 万 hm², 位列全国第五, 单产水平全国首位^[8]。随着 2004 年粮食作物的比较效益显著提升以来, 油菜种植面积开始下降, 2008 年对油菜籽实行托市收购政策, 2008—2011 年油菜种植面积有所回升, 约 46.67 万 hm², 以后又逐渐下降, 2015 年国家的油菜籽临时收储政策取消, 近几年油菜种植面积仍呈下降趋势, 据江苏省农业农村厅统计, 2019 年油菜收获面积不足 26.67 万 hm²^[9-10]。如何增加油菜种植面积是保证江苏油菜产业发展的关键。江苏省是我国沿海滩涂面积最大的省份, 现有沿海滩涂总面积 68.7 万 hm², 约占全国滩涂总面积的 25%, 其中未围垦的滩涂 44.6 万 hm², 目前仍以每年 1 300 hm² 的速度不断增长, 成为开发潜力巨大的国土资源^[11-12]。油菜植株相对

高大, 生长量大, 种植油菜后土壤有机质含量和速效养分含量显著增加, 对后茬作物的增产有促进作用^[13-14], 同时油菜生长过程中根系分泌有机酸, 可有效缓解盐碱逆境, 因此, 结合江苏当地资源, 发展江苏盐碱地油菜生产可显著改良土壤环境和增强江苏油菜生产能力。氮、磷、钾是作物生长需求的三大营养元素, 沿海盐土土壤碱解氮和速效磷含量较低, 土壤速效钾含量较高, 关于盐分条件下氮肥用量对作物生长的影响研究较多^[15-17]。笔者通过不同磷肥用量试验, 研究盐地条件下磷肥对油菜生长的影响, 从而为江苏沿海油菜生产上制定合理的磷肥施用量提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于 2020—2021 年在江苏大丰市上海农场进行。播种前取 20 cm 耕作层土壤样品测定土壤理化性状, 碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 58.5、10.3 和 179.6 mg/kg, 土壤总盐分含量 2.742 g/kg, pH 8.1。

1.2 试验材料 以陕西省咸阳市农业科学院选育的杂交油菜品种秦优 10 号为供试材料。

1.3 试验设计 于 10 月 13 日人工开沟播种, 小区长 60 m、宽 2 m。设置不同的磷肥用量(P₂O₅) 处理, 分别为 0、30、60、90、120 和 150 kg/hm²。磷肥用过磷酸钙(12% P₂O₅), 各小区施氮(N)和钾(K₂O)用量相同, 分别为 270 和 75 kg/hm², 氮肥选用尿素(46% N), 钾肥用硫酸钾(52% K₂O), 各小区施硼肥(硼砂, 12% B) 4.5 kg/hm²; 氮肥按基: 苗: 薹肥比例 5:2:3 施用, 磷、钾、硼肥全部基施。4~5 叶期定苗, 留苗密度

基金项目 江苏省作物遗传生理重点实验室开放课题(YCSL201909)。
作者简介 刘荣(1987—), 男, 江苏淮安人, 农艺师, 硕士, 从事农业生产及生理研究。* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事油菜栽培技术研究。

收稿日期 2021-09-22; **修回日期** 2021-11-12

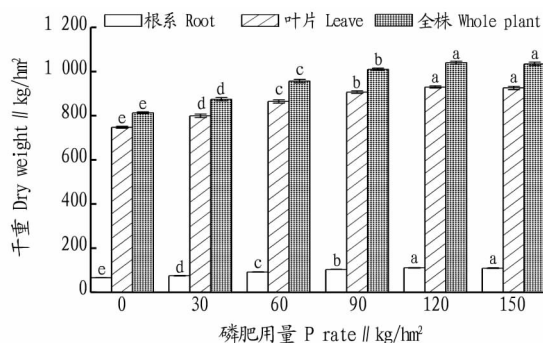
为 45 万株/hm²。

1.4 测定项目与方法 苗期和初花期连续取样 10 株,按根、茎、叶和花分开,烘干、称重;成熟期连续取样 10 株,晾干后按根、茎、果壳和籽粒分开,烘干、称重。

1.5 数据处理 利用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理, DPS 7.05 软件进行方差分析和显著性检验,利用 Origin 画图。

2 结果与分析

2.1 不同处理苗期干物质积累量差异 由图 1 可知,盐地条件下施磷肥促进油菜苗期生长。油菜苗期根系、叶片和全株的干物质积累量分别为 66.27~110.36、746.01~928.54 和 812.28~1 038.90 kg/hm²。120 kg/hm² 磷肥用量范围内,油菜苗期各器官干物质积累量随磷肥用量增加而显著增加。相比对照,120 kg/hm² 处理下根系、叶片和全株干物质积累量增加了 66.53%、24.47% 和 27.90%。120 和 150 kg/hm² 处理间无显著差异。



注:不同小写字母表示同一器官在不同处理下存在显著差异($P < 0.05$)

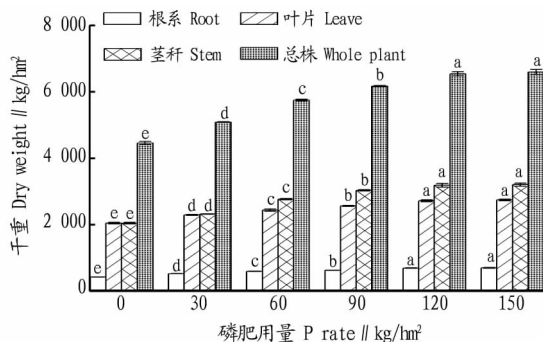
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different P rate treatments

图 1 盐地条件下不同处理对油菜苗期干物质积累的影响

Fig.1 Effects of P supply on biomass accumulation of canola at seedling stage in saline soil

2.2 不同处理初花期干物质积累量差异 由图 2 可知,盐地条件下施磷肥对于油菜初花期生长具有促进作用。不同处理条件下初花期油菜全株干物质积累量为 4 476.46~6 630.68 kg/hm²,在 150 kg/hm² 处理下达到最大值。相比对照,全株干物质积累量在 150 kg/hm² 处理下增加了 48.12%。不同处理下初花期根系、叶片和茎秆干物质积累量分别为 402.22~678.04、2 038.85~2 743.64 和 2 035.39~3 209.00 kg/hm²。不同器官干物质积累最大值均出现在 150 kg/hm² 处理下。相比对照,150 kg/hm² 处理下根系、叶片和茎秆干物质积累量增加了 68.57%、34.57% 和 57.66%。120 和 150 kg/hm² 处理下全株和不同器官干物质积累无显著差异。

2.3 不同处理成熟期干物质积累量差异 由图 3 可知,盐地条件下增施磷肥对成熟期油菜生长起促进作用。不同处理条件下油菜成熟期全株干物质积累量为 8 035.58~12 556.49 kg/hm²,最大值出现在 150 kg/hm² 处理下,相比对照,其增加幅度为 56.26%。不同处理下成熟期根系、茎秆、果



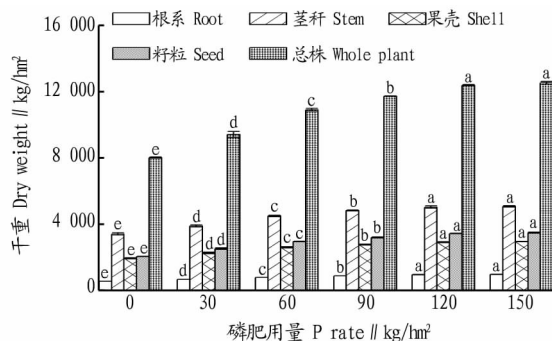
注:不同小写字母表示同一器官在不同处理下存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different P rate treatments

图 2 盐地条件下不同处理对油菜初花期干物质积累的影响

Fig.2 Effects of P supply on biomass accumulation of canola at flowering stage in saline soil

壳和籽粒干重分别为 571.78~988.67、3 433.26~5 094.16、1 962.85~2 966.10 和 2 067.69~3 507.57 kg/hm²。120 kg/hm² 磷肥用量下,成熟期不同器官干物质积累量随着磷肥用量的增加而显著增加。相比对照,120 kg/hm² 处理下根系、茎秆、果壳和籽粒干物质积累量增幅分别为 69.91%、47.15%、49.70% 和 67.10%。120 和 150 kg/hm² 处理下全株和不同器官干物质积累量无显著差异。



注:不同小写字母表示同一器官在不同处理下存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different P rate treatments

图 3 盐地条件下不同处理对油菜成熟期干物质积累的影响

Fig.3 Effects of P supply on biomass accumulation of canola at maturity stage in saline soil

2.4 不同处理各时期干物质分配比例差异 由表 1 可知,油菜苗期干物质主要分配在叶片(89.38%~91.84%),根系中分配比例较小(8.16%~10.62%)。120 kg/hm² 磷肥用量范围内,根系干物质积累显著增加,而叶片显著降低。相比对照,120 kg/hm² 处理下根系干物质分配比例增加了 30.15%,叶片干物质分配比例降低了 2.68%。120 kg/hm² 处理与 150 kg/hm² 处理无显著差异。

初花期干物质主要分配在叶片中(45.35%~48.93%),其次是茎秆(41.28%~45.54%),分配比例最低的是根系(8.99%~10.26%)。90 kg/hm² 磷肥用量范围内,随着磷肥用

量的增加,根系和叶片干物质分配比例显著增加,但茎秆降低。相比对照,120 kg/hm² 处理下根系和叶片的干物质分配比例分别增加了 14.13%和6.58%,茎秆的干物质分配比例则降低了 9.35%。120 kg/hm² 处理与 150 kg/hm² 处理根系、茎秆和叶片均无显著差异。

成熟期干物质主要分配在茎秆(40.57%~42.72%),其次是籽粒(25.74%~27.93%)和果壳(23.62%~24.43%),最低的

是根系(7.12%~7.87%)。随着磷肥用量的增加,根系和籽粒中的干物质分配比例增加,但茎秆和果壳降低。相比对照,120 kg/hm² 处理下根系和籽粒的干物质分配比例分别增加了 9.83%和 8.12%,而茎秆和果壳则降低了 4.75%和 3.11%。120 kg/hm² 处理与 150 kg/hm² 处理根系、茎秆、果壳、籽粒均无显著差异。

表 1 不同处理各器官干物质分配比例

Table 1 Dry matter distribution ratio of organs in different treatments

磷肥用量 P rate kg/hm ²	苗期 Seedling stage		初花期 Flowering stage			成熟期 Maturity stage			
	根系 Root	叶片 Leave	根系 Root	茎秆 Stem	叶片 Leave	根系 Root	茎秆 Stem	果壳 Shell	籽粒 Seed
0	8.16 e	91.84 a	8.99 d	45.54 a	45.47 c	7.12 e	42.72 a	24.43 a	25.74 d
30	8.58 d	91.42 b	9.88 bc	44.76 b	45.35 c	7.29 de	41.51 b	24.20 ab	27.00 c
60	9.60 c	90.40 c	9.97 b	42.15 c	47.89 b	7.40 cd	41.32 bc	24.04 abc	27.23 bc
90	10.24 b	89.76 d	9.76 c	41.31 d	48.93 a	7.62 bc	41.26 bcd	23.74 bc	27.38 b
120	10.62 a	89.38 e	10.26 a	41.28 d	48.46 a	7.82 ab	40.69 cd	23.67 bc	27.83 a
150	10.53 a	89.47 e	10.22 a	41.38 d	48.40 ab	7.87 a	40.57 d	23.62 c	27.93 a

注:同列不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)

Note Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level between different P rate treatments

3 结论与讨论

研究发现,盐地条件下施磷肥可以促进油菜各个时期的生长,并最终提高籽粒产量。从利用角度来看,推荐此区域磷肥用量为 120 kg/hm²。

研究表明,盐胁迫能抑制油菜的生长发育,抑制光合和养分吸收,最终降低籽粒产量^[18-19]。刘婧怡等^[20]指出盐胁迫下油菜植株氮、磷和钾素积累显著降低,从而导致干物质积累降低,最终造成减产。由于盐碱地中磷素大量吸附在钠、钙等元素表面形成沉淀,所以有效磷素不足是盐碱地的主要特征之一^[21]。该研究中,增施磷肥显著促进了各个生长阶段油菜各器官的干物质积累量。同时还发现在不同器官中,增施磷肥对根系的促进作用最大,且根系的干物质分配比例也呈增长趋势。良好的根系发育是植物养分吸收和最终产量的重要基础。研究表明,施磷肥可以促进根系体积、根系表面积和根长等根部性状,表明适当的磷肥施用可以帮助油菜形成强壮的根系^[22]。此外,增施磷肥使根系具有更大表面积,增加和土壤的接触面积,继而帮助根部吸收如磷素这类移动性较弱的元素^[23]。

叶片是油菜苗期和花期主要的光合器官,叶片的发育对干物质积累具有十分重要的意义。在花期,油菜叶片的干物质积累和分配比例随着磷肥用量的增加而显著增加。研究表明,增施磷肥,能够促进油菜叶片气孔导度,加快叶片内外的气体交换,提高叶片叶绿素含量,继而促进叶片光合速率,最终导致叶片积累更多的干物质^[24-25]。良好的叶片光合最终实现了油菜高产。

在成熟期,增施磷肥一方面可以促进地上部器官如茎秆、果壳和籽粒的干物质积累,另一方面提高了干物质在籽粒中的分配比例,降低了在茎秆和果壳中的分配比例。研究表明,盐胁迫抑制成熟期养分从营养生长器官向最终生殖生长器官的转运,从而造成产量降低^[26]。该研究结果显示,盐胁迫下,增

施磷肥可以促进养分向籽粒的运输,减轻了盐胁迫将养分固定在营养器官中的程度。因此,盐地条件下施磷肥可以促进干物质积累,并促进养分向籽粒转运,最终提高产量。

参考文献

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等.世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J].水土保持研究,2005,12(6):28-30,107.
- [2] 翟云龙,章建新,李宁,等.NaCl 胁迫对奶花芸豆种子萌发及幼苗生长的影响[J].新疆农业大学学报,2004,27(3):30-33.
- [3] 谢国生,朱伯华,彭旭辉,等.水稻苗期对不同 pH 值下 NaCl 和 NaHCO₃ 胁迫响应的比较[J].华中农业大学学报,2005,24(2):121-124.
- [4] 刘欣.植物的耐盐生物学机制研究进展[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2015,31(2):140-145.
- [5] 高建芹,浦惠明,龙卫华,等.高油酸甘蓝型油菜油酸积累动态[J].中国油料作物学报,2012,34(4):359-365.
- [6] LI Y S, YU C B, ZHU S, et al. High planting density benefits to mechanized harvest and nitrogen application rates of oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil science and plant nutrition, 2014, 60(3):384-392.
- [7] HU Q, HUA W, YIN Y, et al. Rapeseed research and production in China [J]. The crop journal, 2017, 5(2):127-135.
- [8] 张浩夫,戚存扣.江苏油菜产业可持续发展的关键技术[J].江苏农业学报,2013,29(6):1236-1240.
- [9] 陈艳君.政策指导下国内油菜籽、菜籽油市场将如何演绎? [J].粮食与油脂,2009,22(7):29-30.
- [10] 冷博峰,李谷成,冯中朝.对国家油菜籽临时收储政策的几点思考:效果、问题及其取消后的影响[J].农业现代化研究,2017,38(4):632-639.
- [11] 潘德峰,闫少锋,尚洁.江苏垦区种稻洗盐添加化学改良剂加速脱盐效果研究[J].现代农业科技,2014(20):199-200,205.
- [12] 束邱恺,高永年,刘友兆,等.江苏沿海地区土地利用生态价值测算评估[J].地球信息科学学报,2016,18(6):787-796.
- [13] 丛日环,张智,郑磊,等.基于 GIS 的长江中游油菜种植区土壤养分及 pH 状况[J].土壤学报,2016,53(5):1213-1224.
- [14] 刘哲辉.油菜根茬对后作玉米的增产作用研究[D].北京:中国农业科学院,2017.
- [15] 王永和,孙进.氮肥用量对盐抗杂 1 号棉花生物性状和经济性状的影响[J].河南农业科学,2013,42(12):40-42.
- [16] 祁通,刘易,冯耀祖,等.氮肥施用方式对耐盐冬小麦干物质积累和氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1288-1293.
- [17] 王虎甲,王荣华,吴则东.氮肥与盐水滴灌对甜高粱产量及土壤性状的影响[J].中国糖料,2017,39(4):43-47.

表 2 5 种中药石油醚、乙醇、乙酸乙酯提取物对 BuChE 和 AChE 抑制的 IC₅₀ 值Table 2 The IC₅₀ values of five traditional Chinese medicine extracts of petroleum ether, ethanol and ethyl acetate on BuChE and AChE inhibition

中药 Traditional Chinese medicine	BuChE			AChE		
	石油醚提取物 Petroleum ether extract	乙醇提取物 Ethanol extract	乙酸乙酯提取物 Ethyl acetate extract	石油醚提取物 Petroleum ether extract	乙醇提取物 Ethanol extract	乙酸乙酯提取物 Ethyl acetate extract
云木香 <i>Saussurea costus</i>	29.27±1.32	—	41.92±0.91	—	16.00±1.46	—
粗茎鳞毛蕨 <i>Dryopteris crassirhizoma</i>	—	—	—	42.03±1.21	—	—
鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i>	—	—	12.41±0.98	—	—	—
虎杖 <i>Reynoutria japonica</i>	—	—	11.29±1.54	—	—	27.04±1.18
越南槐 <i>Sophora tonkinensis</i>	15.52±1.56	25.17±1.51	17.99±1.24	—	—	—
阳性对照 Positive control	0.89 (iso-OMPA)			0.03 (Donepezil)		

该研究表明,传统中药在阿尔兹海默氏症的治疗中具有较大的潜力,但治疗机制仍未得到充分探索。该研究结果为将传统中药提取物用于治疗阿尔兹海默氏症提供了理论依据,但这些提取物的化学成分和药理活性需进一步研究。

参考文献

- [1] BANIK A, PRABHAKAR S, KALRA J, et al. Effect of human umbilical cord blood derived lineage negative stem cells transplanted in amyloid-β induced cognitive impaired mice[J]. Behavioural brain research, 2015, 291: 46–59.
- [2] SIOTTO M, SQUITTI R. Copper imbalance in Alzheimer's disease: Overview of the exchangeable copper component in plasma and the intriguing role albumin plays[J]. Coordination chemistry reviews, 2018, 371: 86–95.
- [3] ZHOU J, MENG L C, YE W R, et al. A sensitive detection assay based on signal amplification technology for Alzheimer's disease's early biomarker in exosome[J]. Analytica chimica acta, 2018, 1022: 124–130.
- [4] 吴福林, 周柏松, 董庆海, 等. 中药蜈蚣的研究进展[J]. 特产研究, 2018, 40(1): 69–76.
- [5] SMALL G, BULLOCK R. Defining optimal treatment with cholinesterase inhibitors in Alzheimer's disease[J]. Alzheimers & dementia, 2011, 7(2): 177–184.
- [6] BONO G F, SIMÃO-SILVA D P, BATISTELA M S, et al. Butyrylcholinesterase: K variant, plasma activity, molecular forms and rivastigmine treatment in Alzheimer's disease in a Southern Brazilian population[J]. Neurochemistry international, 2015, 81: 57–62.
- [7] LEBOS E P, THORN C, EDGERTON J R, et al. Muscarinic receptor subtype distribution in the central nervous system and relevance to aging and Alzheimer's disease[J]. Neuropharmacology, 2018, 136: 362–373.
- [8] KAMAGATA K, ANDICA C, HATANO T, et al. Advanced diffusion magnetic resonance imaging in patients with Alzheimer's and Parkinson's diseases[J]. Neural regeneration research, 2020, 15(9): 1590–1600.
- [9] LIN H Q, HO M T, LAU L S, et al. Anti-acetylcholinesterase activities of traditional Chinese medicine for treating Alzheimer's disease[J]. Chemico-biological interactions, 2008, 175(1/2/3): 352–354.
- [10] SATHEESHKUMAR N, MUKHERJEE P K, BHADRA S, et al. Acetylcholinesterase enzyme inhibitory potential of standardized extract of *Trigonella foenum graecum* L and its constituents[J]. Phytomedicine, 2010, 17(3/4): 292–295.
- [11] BOROWIEC K, SZWAJGIER D, TARGO ŃSKI Z, et al. Cholinesterase in-

- hibitors isolated from bilberry fruit[J]. Journal of functional foods, 2014, 11: 313–321.
- [12] DARVESH S, HOPKINS D A, GEULA C. Neurobiology of butyrylcholinesterase[J]. Nature reviews neuroscience, 2003, 4(2): 131–138.
- [13] GROSSBERG G T, TONG G, BURKE A D, et al. Present algorithms and future treatments for Alzheimer's disease[J]. Journal of alzheimers disease, 2019, 67(4): 1157–1171.
- [14] LHO S K, KIM T H, KWAK K P, et al. Effects of lifetime cumulative ginseng intake on cognitive function in late life[J]. Alzheimer's research & therapy, 2018, 10: 1–9.
- [15] WANG M S, BI W C, FAN K Y, et al. Ameliorating effect of *Alpinia oxyphylla-Schisandra chinensis* herb pair on cognitive impairment in a mouse model of Alzheimer's disease[J]. Biomedicine & pharmacotherapy, 2018, 97: 128–135.
- [16] KUBOYAMA T, HIROTSU K, ARAI T, et al. Polygalae Radix extract prevents axonal degeneration and memory deficits in a transgenic mouse model of Alzheimer's disease[J]. Frontiers in pharmacology, 2017, 8: 1–11.
- [17] ZHANG W M, ZHI D J, REN H, et al. Shengmai formula ameliorates pathological characteristics in AD *C. elegans*[J]. Cellular and molecular neurobiology, 2016, 36(8): 1291–1302.
- [18] YANG Y P, LIANG X H, JIN P, et al. Screening and determination for potential acetylcholinesterase inhibitory constituents from ginseng stem-leaf saponins using ultrafiltration (UF)-LC-ESI-MS²[J]. Phytochemical analysis, 2019, 30(1): 26–33.
- [19] CURRAIS A, CHIRUTA C, GOUJON-SVRZIC M, et al. Screening and identification of neuroprotective compounds relevant to Alzheimer's disease from medicinal plants of S. Tomé Príncipe[J]. Journal of ethnopharmacology, 2014, 155(1): 830–840.
- [20] ELLMAN G L, COURTNEY K D, ANDRES V JR, et al. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity[J]. Biochemical pharmacology, 1961, 7: 88–95.
- [21] 王冬梅, 刘艾琳, 黄林芳, 等. 鸡屎藤抑制丁酰胆碱酯酶活性及活性部位的 UPLC-Q-TOF-MS 分析[J]. 中国药科大学学报, 2013, 44(1): 44–48.
- [22] 王增绘, 王冬梅, 刘艾琳, 等. 山豆根抑制丁酰胆碱酯酶活性及活性部位 UPLC-Q-TOF-MS 分析[J]. 中国现代中药, 2015, 17(9): 912–916.
- [23] 王欣, 覃瑶, 孙建彬, 等. 虎杖叶的化学成分、药理活性、临床应用及质量控制研究进展[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(10): 196–200.
- [24] 杨娟, 全健, 余中蓬, 等. 云木香研究进展[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(6): 181–184.

(上接第 134 页)

- [18] 杨洋, 王亚娟, 阴法庭, 等. 盐碱胁迫对油菜苗期生理及光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2020(15): 1–8.
- [19] 刘浩. 盐分含量对油菜碳氮积累、运转及利用效率的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [20] 刘婧台, 左青松, 王龙, 等. 不同盐分条件下油菜氮、磷、钾素积累与分配差异[J]. 中国农学通报, 2021, 37(12): 24–30.
- [21] 刘萍, 夏江宝. 滨海盐碱地根际溶磷细菌磷素转化特征[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4531–4540.
- [22] 徐茂, 曹翠玉, 史瑞和. 不同作物对磷的吸收与根系的生理形态特征的关系[J]. 南京农业大学学报, 1991, 14(4): 65–70.

- [23] ELANCHEZHIAN R, KRISHNAPRIYA V, PANDEY R, et al. Physiological and molecular approaches for improving phosphorus uptake efficiency of crops[J]. Current science, 2015, 108(7): 37–45.
- [24] 张海伟, 徐芳森. 不同磷水平下甘蓝型油菜光合特性的基因型差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1196–1202.
- [25] 余利平, 田立荣, 张春雷, 等. 低磷胁迫对油菜不同生育期叶片光合作用的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(12): 232–236.
- [26] 左青松, 蒯捷, 刘浩, 等. 土壤盐分对油菜氮素积累、运转及利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 827–833.