

双段酶解工艺制备多肽产品及其效果评价

邓志坚, 张汉卿, 郭武松, 叶坤国, 张 建, 武 良, 王 梦

(新洋丰农业科技股份有限公司, 湖北 荆门 448000)

[摘要] 多肽对植物生长起到多种重要的作用, 与肥料结合后可以起到缓释养分和调节作物生理功能的作用。介绍多肽的制备工艺, 包括化学合成法、微生物发酵法以及酶解法。重点分析采用双段酶解工艺制备的多肽产品的特点、技术指标。并对双段酶解工艺制备的多肽产品进行田间效果试验, 结果表明, 双段酶解制备的多肽对油菜生长有着更好的促进作用。

[关键词] 多肽; 双段酶解工艺; 制备; 分子量; 效果评价; 油菜; 生长

[中图分类号] TQ444 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 04-0056-06

Preparation of polypeptide products by double-stage enzymatic hydrolysis and its effect assessment

DENG Zhijian, ZHANG Hanqing, GUO Wusong, YE Kunguo, ZHANG Jian, WU Liang, WANG Meng

(Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen 448000, China)

Abstract: Polypeptides play a variety of important roles in plant growth, and when combined with fertilizers, they can play a role in slowing nutrient release and regulating physiological functions of crops. The preparation technologies of polypeptide are introduced, including chemical synthesis, microbial fermentation and enzymatic hydrolysis. The characteristics and technical indexes of polypeptide produced by double-stage enzymatic hydrolysis are analyzed. Field effect experiments of the prepared polypeptides show that the polypeptide prepared by double-stage enzymatic hydrolysis has a better effect on the growth of rapeseed compared with other polypeptides.

Key words: polypeptide; double-stage enzymatic hydrolysis; preparation; molecular weight; effect assessment; rapeseed; growth

0 引言

近年来市场上各种添加生物激素的肥料开始增多, 多肽作为一种新型的肥料助剂进入大家的视野。肽是 α 氨基酸以肽键连接在一起而形成的化合物, 是蛋白质水解的中间产物, 由3个或3个以上氨基酸分子组成的肽叫多肽。

多肽对植物生长起多种重要的作用^[1]: (1) 多肽可促进植物生长发育。多肽可刺激植物细胞分裂和伸长, 推动茎、叶生长, 也可促进根系发育。植物根系的生长点细胞具有很强的分裂能力, 多肽可以提供信号分子, 激活相关基因的表达, 促使这些细胞不断分裂, 增加根系的细胞数量。例如, 一些含有特定氨基酸序列的多肽可以调节植物生长素的活性, 而生长素在根系生长中起着关键作用, 它能够使根系细胞伸长, 从而使根系更加发达。(2) 多肽可增强植物抗逆性, 提高其对干旱、高温、低温等逆境的抵抗能力, 帮助植物更好地应对。在干旱

条件下, 多肽可以调节植物体内的渗透平衡, 诱导植物细胞合成一些具有保水功能的有机化合物, 如脯氨酸等, 使细胞能够在缺水的环境中保持一定的水分。同时, 多肽还能增强植物细胞膜的稳定性, 减少细胞膜在逆境条件下的损伤。在盐碱地环境中, 多肽可以帮助植物调节体内的离子平衡, 降低盐分对植物的毒害作用^[2]。多肽还能增强植物对病虫害抵御能力, 诱导产生防御物质(如植保素), 抵抗病原体侵袭。(3) 多肽可提高养分吸收效率。多肽与土壤养分结合形成易吸收复合物, 增

[收稿日期] 2024-11-09; **[修回日期]** 2025-03-08

[作者简介] 邓志坚(1977-), 男, 山西垣曲县人, 高级工程师, 首席特肥工程师。

[通信作者] 张汉卿(1999-), 男, 湖北荆门人, 硕士, 化肥工艺转化员。

[基金项目] 湖北省重点研发计划“绿色缓控释肥料研制及应用示范”(2023BBB147)

加养分利用率^[3]。(4)多肽可改善光合作用。多肽可以影响植物叶片中叶绿素的合成和光合作用相关酶的活性。叶绿素是光合作用的关键色素,它能够吸收光能并将其转化为化学能。多肽可以通过调节叶绿素合成过程中的关键步骤,增加叶片中叶绿素的含量。此外,光合作用过程涉及许多酶的参与,如羧化酶等,多肽能够激活这些酶或者提高它们的稳定性,从而促进二氧化碳的固定和碳水化合物的合成,为植物生长提供更多的能量和物质。(5)多肽还促进花芽分化和果实发育,调节生殖生长。在种子萌发阶段,多肽可以作为信号物质,打破种子的休眠状态。它们可以与种子内部的激素相互作用,激活种子内部的代谢活动,促使种子萌发。在花芽分化过程中,多肽能够调节植物激素的平衡,比如调节赤霉素和脱落酸的比例,促进花芽的形成,进而影响植物的生殖生长,对果实和种子的产量和质量都有潜在的影响^[4]。

多肽和肥料在影响作物生长方面存在着协同作用,多肽与肥料结合后,可以起到缓释养分的作用。它能使肥料中的养分在土壤中缓慢释放,延长养分的供应时间,满足作物在不同生长阶段对养分的需求,减少因一次性施肥过多导致的养分浪费和烧苗等问题。多肽可以与肥料中的营养元素(如氮、磷、钾及微量元素)发生相互作用,形成稳定的复合物,减少营养元素在土壤中的固定、淋失和挥发等损失。多肽与磷肥结合,能降低磷在土壤中被铁、铝、钙等固定的概率,使更多的磷保持可被作物吸收的形态,从而提高磷肥的利用率。此外肥料和多肽能共同调节作物生理功能,他们共同使用能影响作物的光合作用。肥料中的氮、镁等元素是叶绿素的重要组成成分,而多肽可以调节光合作用相关酶的活性,如羧化酶等。当两者协同作用时,能够增加叶绿素含量,提高光合作用效率,为作物生长提供更多的能量和物质。不仅如此,多肽本身可以作为信号分子参与作物的生长调节,同时肥料中的某些元素也与植物激素的合成和代谢密切相关。例如,锌元素是生长素合成过程中某些关键酶的组成成分,而多肽可以通过调节相关基因的表达,影响生长素等激素的合成和分布,从而共同调节作物的生长发育进程,如促进细胞伸长、分裂和分化等。此外,多肽和肥料的合理配合使用有助于增强作物的抗逆性。肥料提供的养分可以使作物生长健壮,提高其自身的抗逆能力。多肽则可以通过调节作物的渗透调节物质合成、抗氧化酶活性等,

增强作物对干旱、高温、低温、盐渍等逆境胁迫的适应能力。例如,在干旱条件下,多肽和适量的钾肥共同作用,能促使作物积累更多的脯氨酸等渗透调节物质,降低细胞的渗透势,提高作物的保水能力,从而增强抗旱性。此外,多肽还具有催化植物生命活动,缩短生命活动周期,从而达到早熟和省肥的效果,一般可使作物提前7~12 d收获,还可延缓植物衰老,从根本上解决农产品的保鲜问题,并且可以延长采收期^[5]。多肽具有独特的生理活性,能够刺激作物根系的生长和发育,增加根系的吸收面积和吸收能力。同时,多肽可以调节植物细胞膜的通透性,使养分更容易进入细胞内部,从而促进作物对肥料中各种养分的吸收。比如,一些含有特定氨基酸序列的多肽能够增强作物对钾离子的吸收和转运,提高作物的钾营养水平。此外,多肽复合肥还具有调控养分吸收,有效防止徒长现象,调节营养生长和生殖生长之间的平衡,预防矫治因缺钙引起的各种生理病害^[6]。

市场上的多肽种类很多,对于作物来说,多肽是可以被植物吸收的,但吸收的主要为小分子肽和氨基酸,而肽分子量太大则不利于植物吸收。因此,研发更利于植物吸收的多肽是重点。

1 多肽种类及制备工艺

1.1 分类

肽根据原料可分为天然多肽和人工合成多肽。天然多肽有植物多肽(大豆、玉米等)、动物多肽(血液、骨髓、鱼蛋白等)、微生物类多肽。人工合成多肽包括化学合成多肽、基因工程合成多肽等。

植物多肽的效果最稳定最好,相较于一些化学合成物质或动物源成分,植物源多肽通常被认为是天然、安全的,因为它们不含有像动物源多肽可能携带的病原体(如病毒、细菌等)或其他有害物质。植物界种类繁多,为植物源多肽的获取提供了丰富的资源。几乎所有的植物都含有蛋白质,这些蛋白质都可以作为提取多肽的原料。例如,谷物类植物如小麦、大米等含有大量的谷蛋白,从中可以提取谷蛋白肽,这些肽在食品加工中有很好的应用前景,如作为面团改良剂,提高面包的品质。此外,豆类植物(如大豆)、坚果类植物(如杏仁)以及各种蔬菜和水果也都是植物源多肽的重要来源。不同植物源多肽具有不同的特性和功能,这为开发多种用途的产品提供了可能。此外,植物源多肽的生产通常更符合环保和可持续发展的理念。植物的种植可以通过合理的农业管理方式实现可持续

循环,减少对环境的负面影响。与动物源多肽的获取相比,植物源多肽的生产避免了动物养殖过程中产生的温室气体排放、土地资源占用等问题。而且,植物源多肽生产过程中的废弃物(如植物残渣)可以通过堆肥等方式进行再利用,转化为有机肥料,用于植物的种植,形成一个良性的生态循环。而对于市场情况而言,由于文化和观念等因素的影响,植物源多肽在市场上更容易被消费者接受。在许多文化传统中,植物成分一直被用于保健和治疗。例如,在中国传统医学中,许多植物被用于食疗和养生,植物源多肽作为植物提取物的一种,自然也更容易获得消费者的青睐。通过检测抗氧化能力能得出那种来源的多肽效果更好。在生物学领域,抗氧化性通常指的是人体通过摄取抗氧化营养素而产生的能力,这种能力可以有效地强化人体组织功能,促进人体的新陈代谢,机体抗氧化能力越强,就越健康,生命也越长。以清除自由基测定抗氧化能力的方法,是目前测抗氧化能力使用最多的方法。我们用DPPH自由基法和羟基自由基法分别进行了几种多肽的抗氧化能力检测,结果见图1。

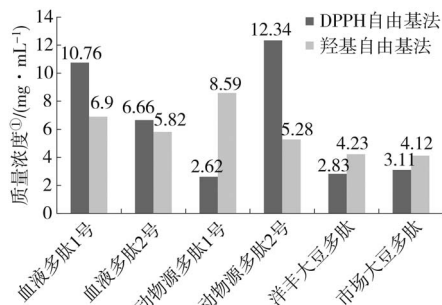


图1 采用DPPH自由基法和羟基自由基法测定不同多肽的抗氧化能力

Fig. 1 Determination of antioxidant capacity of different peptides using DPPH method and hydroxyl radical method

注:①DPPH自由基或羟基自由基清除率为50%时需要的样品质量浓度。

通过图1中数据(多肽质量浓度越低,证明其抗氧化能力越强),得出大豆多肽的抗氧化能力要比动物源多肽和血液多肽强1倍以上。

1.2 制备工艺

多肽制备工艺主要有化学合成法、微生物发酵法以及酶解法。化学合成法优势在于合成过程相对简单,不需要特殊的设备,但其缺点也比较明显,合成效率较低,产物的纯度难以保证,不适合大规模合成。而生物合成法虽然可以大规模生产,但其过程控制比较复杂,产物的纯度和产量可能因此受

到影响。

化学合成法又分为液相合成法和固相合成法。液相合成法是较早发展起来的一种化学合成多肽的方法。在液相环境中,通过逐步缩合氨基酸来合成多肽。一般是将保护的氨基酸单体与活化剂在适当的溶剂中反应,形成肽键。例如,使用叔丁氧羰基或苄氧羰基保护氨基酸的氨基,使其在反应过程中只在羧基端进行反应。反应过程中需要反复进行保护基的脱除和缩合步骤。不过,这种方法操作较为烦琐,因为每一步反应后都需要对产物进行分离和纯化,而且随着肽链长度增加,副反应也会增多,产物的纯度和收率会受到影响。固相合成法是目前多肽化学合成中最常用的方法。它是将第一个氨基酸的羧基端通过共价键连接到一种不溶性的固相载体(如聚苯乙烯树脂)上。然后,在树脂上依次添加氨基酸,每次添加后通过洗涤树脂可以很容易地除去未反应的试剂和副产物。例如,在化学合成过程中,首先将带有保护基的第一个氨基酸连接到树脂上,然后脱除氨基保护基,使其可以与下一个带有活化羧基的氨基酸反应,形成肽键。重复这个过程就可以合成所需的多肽。这种方法的优点是合成过程可以实现自动化,能够高效地合成较长的多肽链,并且产物纯度相对较高,因为每一步的杂质都可以通过简单的洗涤除去。

微生物发酵法是利用微生物(如细菌、酵母菌等)来生产多肽。首先将编码目标多肽的基因导入微生物细胞中,通过基因工程技术构建重组微生物。这些微生物在合适的发酵条件下(包括合适的温度、pH值、营养物质等)生长繁殖,同时表达目标多肽。例如,通过将人的胰岛素基因导入大肠杆菌中,经过发酵培养,大肠杆菌就可以合成胰岛素。微生物发酵法的优势在于可以大规模生产多肽,成本相对较低,而且能够生产具有复杂结构和生物活性的多肽。但是,它也需要对微生物进行严格的基因工程改造和发酵条件控制,以确保多肽的产量和质量。

而酶解法是利用酶的特异性催化作用,将蛋白质水解成多肽。酶解法需要选择合适的蛋白酶,将其与蛋白质原料在适宜的条件下进行反应,通过控制反应条件(如酶的种类、用量、反应时间、温度、pH等),可以控制水解的程度,得到不同分子量区间的多肽。多肽酶解工艺通常在比较温和的条件下进行,如在温和的温度(一般在20~60℃)、接近中性的pH环境(多数酶的最适pH在6~8)。

与化学水解等方法相比,这种条件不会对多肽结构造成过度破坏。例如,一些含有敏感活性基团的多肽,在高温或极端pH条件下可能发生变性或基团修饰,而酶解工艺的温和反应条件可以避免这些情况。同时,反应容易通过控制温度、pH和酶浓度等参数来调节酶解的速度和程度。例如,通过降低温度可以减慢酶解反应速度,增加酶的用量可以加快反应进程。酶具有高度的底物特异性。不同的酶对多肽链中特定的氨基酸序列或化学键有选择性。例如,胰蛋白酶主要作用于精氨酸和赖氨酸残基羧基侧的肽键,而糜蛋白酶主要作用于芳香族氨基酸(如苯丙氨酸、酪氨酸等)残基羧基侧的肽键。这种特异性使得可以精确地将多肽切割成特定的片段,这对于研究多肽的结构功能关系非常重要。比如在研究某种具有特定生物活性的多肽时,可以利用酶的特异性切割来确定活性中心所在的肽段。从环保角度来看,多肽酶解工艺相对比较环保。酶本身是生物大分子,在反应结束后,容易失活和分离。与化学方法相比,酶解过程产生的废弃物少,对环境的污染小。如,化学水解可能会产生大量的酸性或碱性废水,而酶解工艺产生的废水成分相对简单,处理起来更容易,符合现代工业绿色生产的理念^[7]。与其余工艺对比,由于酶解工艺的特异性和温和性,所得到的酶解产物纯度较高,副产物少。酶解产物的肽段长度分布相对均匀,而且能够保持多肽原有的一些特性,如生物活性、光学活性等,多肽的结构和生物活性不会被破坏,蛋白质原料的来源也比较广泛,可进行大规模生产。

2 双段酶解工艺多肽的特点

在酶解法中,双段酶解技术是利用两种或两类不同的酶,在不同的条件下分两个阶段对底物进行酶解。第一阶段使用一种酶,根据该酶的特性,选择合适的温度、pH等条件,使酶与底物充分接触并作用,对底物进行初步分解,将大分子物质切割成中等大小的片段。第一阶段酶解完成后,调整反应条件,如改变温度、pH等,加入第二种酶进行第二阶段的酶解。第二种酶能够识别并作用于第一阶段酶解产物中的特定位点,进一步将中等大小的片段分解为更小的分子,如小肽段或氨基酸。和其他工艺技术相比,双段酶解工艺提高了酶解效率,利用两种酶的协同作用,更全面地对底物进行分解,比单一酶解能够更快、更彻底地将大分子物质降解为目标产物,从而提高生产效率。此外还能增强产物多样性和可控性,可以根据不同的需求,选

择不同的酶组合和酶解条件,精准地控制酶解产物的大小和结构,获得具有特定功能和特性的多肽或氨基酸产品。例如,在生产具有特定生理活性的多肽时,可以通过选择合适的酶和酶解条件,使产物具有特定的氨基酸序列和分子量范围,以满足不同的应用需求。由于酶解效率提高,在相同的生产时间内可以获得更多的产物,从而降低了单位产品的生产成本。同时,通过优化酶解条件和酶的使用量,可以减少酶的浪费,进一步降低成本。

利用双段酶解技术所生产的产品应用广泛。在食品工业领域中,可用于生产功能性食品配料,如大豆肽、玉米肽等。通过双段酶解技术,可以将大豆蛋白、玉米蛋白等原料分解为具有不同功能特性的多肽,如具有降血压、抗氧化、增强免疫力等功能的多肽,添加到食品中,提高食品的营养价值和保健功能。而在饲料工业领域中,可用于生产动物饲料添加剂,提高饲料的消化率和营养价值。将植物蛋白或动物蛋白通过双段酶解技术分解为小肽和氨基酸,更易于动物消化吸收,能够促进动物生长,提高养殖效益。双段酶解技术在生产多肽药物、氨基酸类药物等方面发挥着重要作用^[8]。可以通过双段酶解技术从天然蛋白质资源中制备具有特定药理活性的多肽药物,也可以用于生产氨基酸注射剂等产品。在化妆品行业也用于生产具有保湿、美白、抗衰老等功效的化妆品原料。此外,目前在农业领域,双段酶解制品也逐渐得到应用,除了能作为生物肥料和植物生长调节剂(对作物有促生抗逆增产效果)外,在解决土壤环境污染方面也有重要作用,双段酶解工艺产品可作为土壤修复剂来降解土壤污染物和钝化重金属,双段酶解工艺产品中的一些酶类和微生物代谢产物,具有降解土壤中农药残留、重金属等污染物的能力。例如,某些酶解微生物制剂可以通过酶促反应将土壤中的有机污染物分解为无害的物质,降低土壤污染程度,修复被污染的土壤环境^[9]。酶解产物中的一些有机成分可以与土壤中的重金属离子发生络合、螯合等反应,将重金属离子固定在土壤中,降低其生物有效性和迁移性,减少重金属对作物的毒害作用,同时也能防止重金属通过食物链进入人体,保障农产品质量安全^[10]。

新洋丰农业科技股份有限公司采用优质的大豆蛋白作为原料生产多肽。该工艺全过程采用自动化控制,精确控制温度、pH及反应时间。首先把大豆粉与水按照质量比1:10溶于去离子水,搅拌均匀

匀后用碱调节溶液 pH 到 9~10, 控制温度在 45 ℃, 用大豆肽水解专用复合酶 I (其中碱性蛋白酶活 > 20 万 U/g、中性蛋白酶活 > 5 万 U/g) 酶解 2 h, 把大分子蛋白降解为肽链, pH 转为中性; 然后再进一步用大豆肽水解专用复合酶 II (其中木瓜蛋白酶活 > 800 U/g, 中性蛋白酶活 > 5 万 U/g) 继续酶解 4 h, 精确切割肽链, 可更精准地控制多肽分子量所在的区间。所得多肽产品中, 分子量小于 1 000 道尔顿的占比 80% 以上, 小于 500 道尔顿的占比 70% 以上 (多肽市场标准分子量为 180~2 000 道尔顿), 也更容易和不同肥料配伍, 适用不同土壤和作物。酶解完毕后通过碟式离心机和膜离心设备多重离心得到澄清离心酶解液, 再通过减压降膜浓缩设备低温浓缩到 $w(\text{固})$ 20%~30%, 最后通过喷雾干燥塔进行干燥得到大豆多肽粉末, 经检测指标合格后包装得到产品。

为了更好探究双段酶解多肽的特点, 对不同样品多肽 (外购进口多肽、外购国内多肽、不同酶解时长的自产双段酶解多肽产品) 分子量进行了对比及分析, 结果如图 2 所示。由图 2 可知, 进口多肽样品中分子量大于 2 000 道尔顿的多肽占比较多, 而国内多肽样品中分子量大于 2 000 道尔顿和小于 180 道尔顿的多肽占比较多。此外, 也可看出不同酶解时长会对双段酶解多肽样品中不同分子量区间造成一定差异。

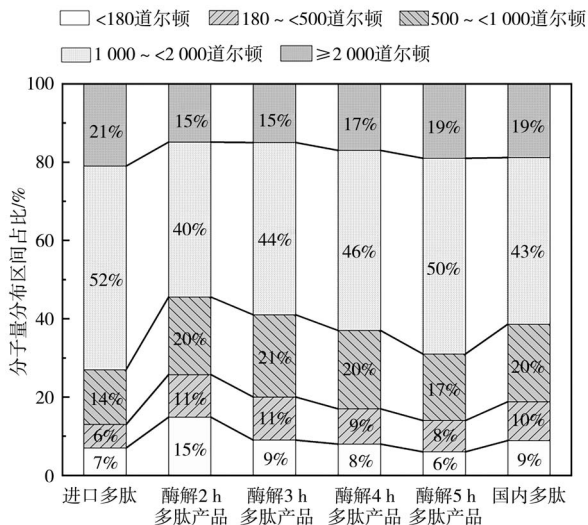


图 2 多肽样品各分子量分布区间占比

Fig. 2 Proportion of molecular weight distribution intervals in peptide samples

因易于被植物吸收的多肽分子量分布在 2 000 道尔顿以下, 氨基酸的分子量平均在 180 道尔顿以下, 判断 180~2 000 道尔顿为我们需要的分子量区

间。此外, 粗蛋白比例为多肽在总样品中的含量。因此, 对各多肽样品中 180~2 000 道尔顿分子量占比及样品中粗蛋白的含量占比进行了测定, 结果如图 3 所示。由图 3 可看出, 3 h 酶解时长的多肽中分子量 180~2 000 道尔顿的占比最高, 而 4 h、5 h 酶解时长的多肽 180~2 000 道尔顿分子量占比明显高于其余样品。此外, 不同样品中粗蛋白的含量占比也有所不同, 粗蛋白含量可近似为总氨基酸的含量, 可结合分子量区间分布作为判断多肽含量的一种依据。

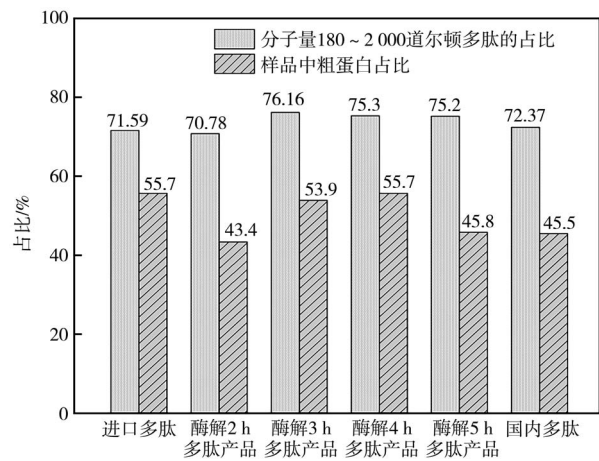


图 3 各样品多肽分子量 180~2 000 道尔顿占比、粗蛋白占比
Fig. 3 Proportion of molecular weight of 180~2 000 Da and crude protein in peptide samples

由于分子量在 180~2 000 道尔顿的多肽更利于植物吸收, 而样品中不仅只有粗蛋白, 还有其余杂质, 因此粗蛋白中分子量在 180~2 000 道尔顿的多肽为有效多肽, 总有效肽含量按 (1) 式计算:

$$\text{总有效肽质量分数} = \frac{\text{分子量在 } 180 \sim 2\,000 \text{ 道尔顿多肽的占比}}{\text{样品中粗蛋白的质量分数}} \quad (1)$$

通过分析, 总有效肽含量计算结果见表 1。由表 1 可知, 自产酶解 4 h 多肽中的总有效肽质量分数最高, 达到 41.94%。通过以上结果可以判断新洋丰农业科技股份有限公司自产多肽 (酶解 4 h) (简称洋丰多肽) 的指标已经达到并略高于外购多肽标准。

表 1 各多肽样品中总有效肽的质量分数

Table 1 Content of total effective peptides in each peptide sample

样品名称	$w(\text{总有效肽})/\%$	样品名称	$w(\text{总有效肽})/\%$
外购*腾多肽	39.88	自产多肽(4 h)	41.94
自产多肽(2 h)	30.72	自产多肽(5 h)	34.44
自产多肽(3 h)	41.05	自产多肽(*木启)	32.93

3 各样品多肽对油菜生长的影响

为了验证和对比自产多肽对农作物植株生长的影响，对掺杂含不同多肽复合肥料样品进行油菜培养试验。模拟按照田间施肥量，将苗龄 15 d 的油菜移栽到大盆中，浇施适量水缓苗 3~4 d 后浇施 200 mL 肥水溶液（每盆按 500 g 土计，每盆浇施肥料 0.5 g，其中基础肥料规格为 17-17-17，助剂多肽按质量分数 0.5% 添加）。一周后再次浇施肥水溶液，苗龄 35 d 左右收获，检测叶鲜质量、叶干质量、根鲜质量、根干质量与根长等指标，每个处理 6 盆重复，结果如表 2 所示。经过不同多肽处理（多肽用量相同），油菜叶鲜质量、叶干质量、根鲜质量、根干质量与根长有所差别。使用洋丰多肽（酶解 4 h）处理的油菜其各项指数均高于其余样品，其叶鲜质量 19.78 g，叶干质量 0.94 g，根鲜质量 0.66 g，根干质量 0.08 g，根长 12.88 g。结果说明，与其余多肽相比，洋丰多肽对油菜生长有着更好的促进作用。

表 2 不同处理油菜生长指标对比

Table 2 Comparison of growth indicators of rapeseed under different treatments

项目	叶鲜 质量/g	叶干 质量/g	根鲜 质量/g	根干 质量/g	根长/cm
空白	13.24	0.63	0.31	0.06	10.00
洋丰多肽	19.78	0.94	0.66	0.08	12.88
外购多肽	13.44	0.65	0.31	0.07	12.50

4 结论

对不同多肽样品进行分子量的测定，洋丰多肽（酶解 4 h）分子量在 180~2 000 道尔顿的占比较多，而其粗蛋白含量最高（并列）。不同酶解时长对有效肽含量也有一定影响，其中酶解时长为 4 h 时有效肽含量最高， $w(\text{有效肽})$ 为 41.94%。通过在油菜生长过程中施加不同多肽产品的田间试验结果表明，使用洋丰多肽后油菜叶鲜质量、叶干质量、根鲜质量、根干质量、根长均高于外购多肽产品。综上所述，洋丰多肽更能促进油菜生长。

[参考文献]

[1] 陈彤, 廖祥儒, 牛建章. 多肽类植物激素[J]. 生物学通报, 2002, 37(12): 6-8.

CHEN T, LIAO X R, NIU J Z. Peptide plant hormones [J]. Bulletin of Biology, 2002, 37(12): 6-8.

[2] 安佳佳, 李新国, 李茂富, 等. 大豆多肽对高温胁迫下巴西蕉幼苗生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 387-391.

AN J J, LI X G, LI M F, et al. Effects of Soybean Peptide on Physiological Indices in the Leaves of Brazil Banana Seedlings under High Temperature Stress [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 387-391.

[3] 周兆禧, 杜中军, 陈业渊, 等. 多肽在农作物生长发育中的作用研究进展[J]. 广东农业科学, 2008(11): 145-147.

ZHOU Z X, DU Z J, CHEN Y Y, et al. Research progress on the role of polypeptides in crop growth and development [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2008(11): 145-147.

[4] RYAN C A, PEARCE G. Polypeptide hormones [J]. Plant Physiol, 2001, 125(1): 65-68.

[5] 王莹, 史振声, 王志斌, 等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1): 6-11.

WANG Y, SHI Z S, WANG Z B, et al. Absorption and utilization of amino acids by plant and application of amino acids on agriculture [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008(1): 6-11.

[6] 杨桂有, 蔡克周, 程榆茗. 猪血中生物活性物质的开发与应用 [J]. 肉类研究, 2009(11): 85-88.

YANG G Y, CAI K Z, CHENG Y M. Development and Application of Bioactive Substance in Porcine Blood [J]. Meat Research, 2009(11): 85-88.

[7] 张昂, 徐威, 郭青松. 酶解食品源蛋白质制备生物活性肽的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(24): 208-215.

ZHANG A, XU W, GUO Q S. Progress in the Preparation of Bioactive Peptides by Enzymatic Digestion of Food-Derived Proteins [J]. Food Research and Development, 2023, 44(24): 208-215.

[8] 沈金阳, 张焯, 于媛媛, 等. 海藻多肽的提取分离及抗肿瘤活性研究进展[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2023, 43(4): 379-386.

SHEN J Y, ZHANG X, YU Y Y, et al. Progress on extraction, isolation and antitumor activity of seaweed polypeptides [J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2023, 43(4): 379-386.

[9] 刘紫薇. 多肽与密植协同阻控水稻对镉的吸收效应研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2022.

LIU Z W. Synergistic Inhibitory Effect of Polypeptides and Dense Planting on Cadmium Absorption of Rice [D]. Wuhan: Hubei University, 2022.

[10] 李云捷. 不同复配氮肥对云烟 87 吸收重金属 Cd 的阻控效应研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2024.

LI Y J. Inhibitory Effect of Different Compound Nitrogen Fertilizers on the Absorption of Heavy Metal Cadmium by Yunyan 87 [D]. Wuhan: Hubei University, 2024.