

魏启舜,郭成宝,周 影,等. 增施不同氨基酸水溶肥对白菜生长的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):160-164.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.030

# 增施不同氨基酸水溶肥对白菜生长的影响

魏启舜,郭成宝,周 影,张 培,黄 莹,王 琳

(江苏丘陵地区南京农业科学研究所,江苏南京 210046)

**摘要:**通过大棚小区试验,以不施肥为空白对照(CK),研究常规施肥(CG)和增施 0.16 g/L 5-氨基乙酰丙酸肥(BS)、聚谷氨酸肥(GA)、羽毛酸解氨基酸肥(YS)、羽毛生物降解氨基酸肥(YZ)对白菜 SPAD 值、叶长、叶柄长、叶宽、叶片数等生物学性状及植株地上部与地下部鲜质量、干质量和根冠比的影响。结果表明,与 CK 相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS、YZ 处理 SPAD 值显著提高;叶长、叶柄长和叶宽与 CK 相比没有显著差异,叶片数较 CK 显著增多;BS、GA、YS、YZ 处理的地上部鲜质量、干质量较 CK 显著提高,地下部鲜质量与 CK 相比没有显著差异,YS 处理的地下部干质量较 CK 显著减小;BS、GA、YS、YZ 处理的根冠比较 CK 显著减小。与 CG 处理相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS、YZ 处理 SPAD 值分别显著提高了 8.32%、6.23%、7.63%、6.63%;叶长、叶柄长、叶宽和叶片数与 CG 处理相比没有显著变化;YZ 处理的地上部鲜质量、地上部干质量分别较 CG 处理显著提高了 21.23%、18.74%,BS、GA、YS 处理与 CG 处理相比没有显著差异;BS、GA、YS、YZ 处理的地下部鲜质量、干质量与 CG 处理没有显著差异,根冠比也没有显著差异。与 CG 处理相比,增施 5-氨基乙酰丙酸、聚谷氨酸、羽毛酸解氨基酸肥处理的肥效不明显,但增施羽毛降解氨基酸肥的处理表现出较高的肥效。由此可见,羽毛生物降解氨基酸肥具有进一步研究和推广应用的潜力。

**关键词:**氨基酸水溶肥;白菜;SPAD 值;生物学性状;产量

**中图分类号:** S634.306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)22-0160-04

氨基酸水溶肥是一种应用广泛的新型功能性肥料,氨基酸中的有机氮能被植物直接吸收,并且可以促进其他有效物质的吸收,具有促进植物生长、提高作物产量、改善作物品质和保护生态环境等作用<sup>[1-3]</sup>。目前,肥料市场上有含单一种类氨基酸和复合氨基酸的水溶肥。研究发现,不同种类氨基酸对植物的营养效应显著不同,同一种氨基酸对不同植物的营养效应也不同<sup>[4]</sup>。复合氨基酸水溶肥料因广谱性更好,是目前市场上的主要产品。

江苏丘陵地区南京农业科学研究所经过多年研究,已经筛选出一批可降解羽毛角蛋白的微生物。通过这些微生物降解羽毛获得的溶液含有多种游离氨基酸,在前期的小白菜<sup>[5]</sup>、草莓<sup>[6]</sup>等盆栽试验中羽毛生物降解氨基酸溶液表现出复合氨基酸的高肥效特点。目前,根据含氨基酸水溶肥料国

家标准的要求,已将该氨基酸溶液螯合一定浓度的微量元素,形成了营养元素更丰富的氨基酸水溶肥料实验室产品。本研究通过大棚小区试验,研究笔者所在单位自制的羽毛生物降解氨基酸肥与 3 种商品氨基酸肥对白菜叶绿素、主要农艺性状及产量的影响,旨在进一步明确羽毛降解氨基酸在园艺作物生产中的应用效果,为该产品的产业化生产和推广应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在南京市栖霞区江苏丘陵地区南京农业科学研究所的连栋大棚内进行,供试白菜品种为南京绿领种业有限公司提供的苏冠 221。大棚土壤基本理化性状:有机质含量为 14.59 g/kg,全氮、全磷、全钾含量分别为 1.34、1.49、13.25 g/kg,速效磷、速效钾含量分别为 91.38、197.50 mg/kg, pH 值为 6.25,电导率(EC)为 60  $\mu$ S/cm。供试 5-氨基乙酰丙酸肥、聚谷氨酸肥、羽毛酸解氨基酸肥分别由南京禾稼春生物科技有限公司、南京轩凯生物科技有限公司、南京宁粮生物肥料有限公司生产。羽毛生物降解氨基酸肥由笔者所在实验室自制,制作方法

收稿日期:2020-03-13

基金项目:江苏省科技项目(编号:BE2019301);国家自然科学基金(编号:31700099)。

作者简介:魏启舜(1973—),男,江苏南京人,副研究员,主要从事农业废弃物综合利用研究。E-mail:hhzx.w@163.com。

通信作者:王 琳,博士,副研究员,主要从事农业有机废弃物资源化利用和土壤肥料相关研究。E-mail:wanglin0421nj@163.com。

是在羽毛发酵培养基中接入 1% *Thermoactinomyces* sp. (高温放线菌) YT06 种子液,于 55 ℃、180 r/min 摇床上培养 3 d 后,离心收集上清液<sup>[7]</sup>,根据测出的溶液相应浓度,按含氨基酸水溶肥料国家标准<sup>[8]</sup>螯

合一定量的 Cu、Fe、Mn、Zn、B 等微量元素。各供试氨基酸肥的主要技术指标见表 1。本试验中各氨基酸肥均稀释成 0.16 g/L (前期盆栽白菜试验的氨基酸浓度<sup>[5]</sup>),施肥方式为叶面喷施。

表 1 供试氨基酸肥的主要技术指标

供试肥料	氨基酸种类	氨基酸含量 (g/L)	微量元素	建议使用方法
5-氨基乙酰丙酸 (BS)	单一氨基酸	167.08	有	稀释 2 000 倍
聚谷氨酸肥 (GA)	单一氨基酸	62.35	无	稀释 1 000 倍
羽毛酸解氨基酸肥 (YS)	复合氨基酸	321.72	有	稀释 600 倍
羽毛生物降解氨基酸肥 (YZ)	复合氨基酸	8.30	有	稀释 1 倍

## 1.2 试验设计与方法

试验设 6 个处理:(1)空白对照 (CK);(2)常规施肥 (CG);(3)在常规施肥基础上增施 5-氨基乙酰丙酸肥 (BS);(4)在常规施肥基础上增施聚谷氨酸肥 (GA);(5)在常规施肥基础上增施羽毛酸解氨基酸肥 (YS);(6)在常规施肥基础上增施羽毛生物降解氨基酸肥 (YZ)。试验于 2019 年 4 月 8 日开始,栽培前整地并划分小区,除空白对照外,均以商品有机肥和史丹利三元素复合肥 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量均为 17%)作基肥,用量为 15 t/hm<sup>2</sup> 商品有机肥、0.75 t/hm<sup>2</sup> 三元素复合肥。每个处理完全随机排列,重复 3 次。白菜栽培方式为穴播,每穴播 3~4 粒种子,株距、行距均为 15 cm,每个小区 20 穴,当菜秧长至 3~4 张叶片时间苗,每穴选择长势一致的健壮苗定苗 1 株。5 月 8 日开始进行氨基酸喷施处理,以后每 10 d 喷施 1 次,共喷 3 次,每个小区喷施氨基酸的量为 400 mL,常规施肥处理与空白对照喷施等量清水。所有处理在 6 月 3 日进行试验数据的测定。

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 SPAD 值的测定 采收前用日本 Konica Minolta 公司的 SPAD-502Plus 型叶绿素仪测定 SPAD 值,每株测定顶端 3 张完全展开的叶片,每个小区测量 10 株,取平均值<sup>[9-10]</sup>。

1.3.2 叶长、叶柄长、叶宽和叶片数的测量 每个小区随机选取 5 株测量叶长、叶柄长、叶宽和叶片数,选择每株的最大叶片进行叶长、叶柄长、叶宽测量,分别取平均值。叶长不包括叶柄的长度;叶柄长测量的是叶片除叶长外剩余部分的长度;叶宽为垂直于叶柄的叶片最宽宽度;叶片数测量的是叶宽大于 1 cm 的叶片数<sup>[11]</sup>。

1.3.3 地上部与地下部鲜质量、干质量的测定 每个小区随机选取 3 株植株测定地上部与地下部的鲜

质量、干质量,取平均值。采收后用纯水将植株清洗干净,擦干水分后用刀片将植株地上部分与根部分割开,然后用天平直接称量植株地上部与根的质量,即为地上部、地下部鲜质量。测定鲜质量后将植株地上部、根部分别放于 80 ℃烘箱中烘干至恒质量,用天平称量获得地上部、地下部干质量<sup>[12]</sup>。

1.3.4 根冠比 根冠比 = 地下部鲜质量/地上部鲜质量。

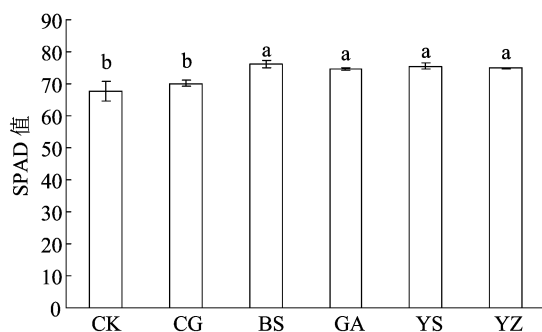
## 1.4 数据处理

用 Excel 2007 处理数据和绘制表格,用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,用 Duncan's 法进行多重比较,α = 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对白菜 SPAD 值的影响

由图 1 可以看出,增施氨基酸肥各处理的白菜 SPAD 值均显著高于常规施肥处理和空白对照。常规施肥处理的 SPAD 值为 70.16,增施氨基酸的 BS、GA、YS、YZ 处理的 SPAD 值分别比 CG 处理显著提高了 8.32%、6.23%、7.63%、6.63%,说明增施氨基酸肥可以提高植物的叶绿素含量。常规施肥处理与空白对照间的 SPAD 值没有显著差异。



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 2 同

图 1 不同处理白菜的 SPAD 值

2.2 不同处理对白菜生物学性状的影响

由表 2 可以看出,白菜的叶长、叶柄长和叶宽在处理之间均无显著差异。与空白对照相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS、YZ 处理叶片数显著增多;与常规施肥相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS、YZ 处

理叶片数没有显著差异;增施聚谷氨酸肥的叶片数显著高于增施 5 - 氨基乙酰丙酸肥,这可能与不同氨基酸种类对叶片生长的影响不同有关。空白对照仅叶片数显著小于其他处理,叶长、叶柄长和叶宽均与其他处理无显著差异。

表 2 不同处理白菜的生物学性状

处理	叶长 (cm)	叶柄长 (cm)	叶宽 (cm)	叶片数 (张)
CK	11.90 ± 1.41a	6.45 ± 1.48a	12.85 ± 0.92a	20.00 ± 1.41c
CG	12.27 ± 1.15a	5.55 ± 0.79a	14.13 ± 1.50a	28.50 ± 0.87ab
BS	12.04 ± 0.82a	5.87 ± 0.43a	13.78 ± 1.45a	26.67 ± 3.21b
GA	11.85 ± 0.89a	5.58 ± 0.45a	12.73 ± 0.55a	30.83 ± 1.89a
YS	12.83 ± 1.05a	5.38 ± 0.95a	13.82 ± 1.68a	28.50 ± 1.32ab
YZ	13.10 ± 0.40a	5.82 ± 0.29a	14.62 ± 0.97a	29.83 ± 2.31ab

注:同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。

2.3 不同处理对白菜单株产量的影响

由表 3 可以看出,不同处理白菜的地上部鲜质量和干质量差异显著。与空白对照相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS、YZ 处理显著提高了白菜的地上部鲜质量和干质量;与常规施肥处理相比,增施羽毛生物降解氨基酸肥处理的白菜地上部鲜质量、干质量分别显著提高了 21.23%、18.74%,说明增施羽毛生物降解氨基酸肥对白菜地上部生长具有显著的促进作用。与常规施肥处理相比,增施氨基酸肥的 BS、GA、YS 处理地上部鲜质量、干质量没有显著差异;增施羽毛酸解氨基酸肥处理的地上部鲜质量、

干质量均显著小于 YZ 处理,增施聚谷氨酸肥处理的地上部干质量也显著小于 YZ 处理,可能与相同浓度的不同种类氨基酸对白菜生长的肥效有差异相关。

由表 3 还可以看出,不同处理白菜的地下部鲜质量没有显著差异,说明增施氨基酸肥对根的生长影响不大;空白对照的地下部干质量最大,且显著高于 YS 处理;增施羽毛生物降解氨基酸肥处理的地上部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量均显著高于 YS 处理,这可能与不同工艺生产的氨基酸肥中所含的氨基酸种类和浓度不一致有关。

表 3 不同处理白菜单株地上部、地下部鲜质量和干质量

处理	地上部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地下部干质量 (g)
CK	190.00 ± 2.83c	14.45 ± 1.37d	17.25 ± 0.35a	3.25 ± 0.11a
CG	307.67 ± 20.53b	21.83 ± 0.61bc	14.20 ± 1.75a	2.98 ± 0.23ab
BS	336.67 ± 38.40ab	23.85 ± 2.10ab	15.33 ± 1.53a	2.73 ± 0.52ab
GA	327.00 ± 12.53ab	21.05 ± 0.83c	15.33 ± 0.58a	2.85 ± 0.43ab
YS	313.67 ± 12.01b	21.21 ± 0.99c	14.63 ± 1.98a	2.42 ± 0.19b
YZ	373.00 ± 45.13a	25.92 ± 1.55a	17.00 ± 2.48a	3.19 ± 0.32a

2.4 不同处理对白菜根冠比的影响

由图 2 可以看出,空白对照的白菜根冠比达到 0.087,显著高于其他施肥处理;常规施肥处理与增施氨基酸的 BS、GA、YS、YZ 处理间的根冠比差异不显著,说明增施氨基酸肥对白菜根冠比的影响不大。结合表 3 可知,增施羽毛生物降解氨基酸肥处理的地上部生物量最大,地下部生物量较大,说明增施羽毛生物降解氨基酸肥后,作物地上部、地下

部生长发育平衡,是本试验中最理想的肥料处理。

3 结论与讨论

植物叶片中的叶绿素含量不仅能直接反映植物的营养状况,还能影响植物的光合作用,是植物的重要生理指标之一。研究发现,植物叶片的 SPAD 值与叶绿素含量具有显著的正相关性,生产上常用 SPAD 值进行植物氮素营养是否缺少的快速

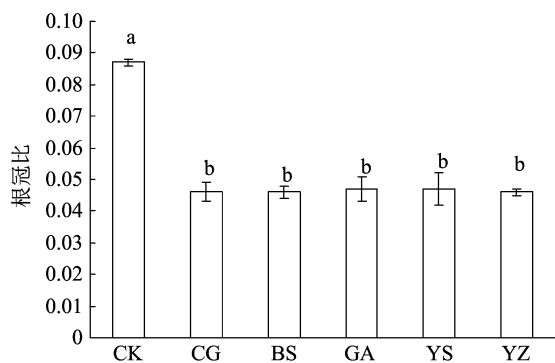


图2 不同处理白菜的根冠比

诊断<sup>[13-15]</sup>。在本试验中,增施氨基酸的所有处理的 SPAD 值均显著高于没有施用氨基酸的处理,这与前人的研究结果一致。然而每种氨基酸肥都有一定的适作物和浓度应用范围,在实际生产中,应针对不同作物、不同施肥水平的土壤,选用适宜浓度的氨基酸,以取得理想的效果<sup>[16-17]</sup>。目前市场上的氨基酸肥料主要以水解或发酵生产的复合氨基酸为主体,研究发现,复合氨基酸的肥效大于单种氨基酸,但是对一种作物而言,只由肥效作用好的单个氨基酸组成的氨基酸群体肥效也较高,而由肥效作用差的一些氨基酸组成的氨基酸群体肥效仍然偏低<sup>[16]</sup>。在本试验中,增施 5-氨基乙酰丙酸、聚谷氨酸和羽毛降解氨基酸肥 3 个处理的氨基酸使用质量浓度均为 0.16 g/L,这与各肥料的建议使用浓度相差较大,而该浓度的羽毛生物降解氨基酸肥在前期盆栽试验中已有良好表现,加上 GA 处理还没有螯合微量元素等原因,造成了与常规施肥相比,仅 YZ 处理表现出显著肥效,而 BS、GA、YS 处理只是显著提高了白菜的 SPAD 值,在生物学性状、地上部和地下部生物量方面均没有表现出氨基酸的肥效。另外,用不同工艺生产的复合氨基酸肥料含有的氨基酸种类和浓度也不一样<sup>[18]</sup>,羽毛角蛋白通过微生物降解比酸解处理得更彻底,氨基酸损失少、含量大,且产物中含有大量菌体、多种生物活性物质和微生物代谢产物,而有害金属离子含量更少<sup>[19-20]</sup>。本试验中喷施的 YS、YZ 这 2 种复合氨基酸虽然均以羽毛为原料降解形成,但 YS 是通过化学酸解得到的而 YZ 是通过微生物降解得到的,可能由于 YS 中含有对白菜生长有影响的物质,如浓度较高的氯离子<sup>[18]</sup>,而 YZ 中的微生物代谢产物和活性物质对白菜生长更有利,造成这 2 个处理在白菜地上部生物量方面存在显著差异。

合理施肥是提高作物产量的重要措施,在本试

验中,空白对照在白菜生长过程中没有施用任何肥料,这与该处理白菜叶片数最少、地上部生物量最少的测定结果相符,但是试验土壤养分含量较高,根据资料分析,供试土壤养分指数达到 82,已属高养分等级土壤<sup>[21]</sup>。白菜在生长前期充分吸收和利用土壤中的养分,生长较正常,表现为 CK 的叶长、叶柄长、叶宽与其他处理间差异不显著,但后期由于营养元素缺乏,叶片停止生长发育,当氮贫乏时,植株根系获得了相对更多的碳<sup>[22]</sup>,负责吸收限制性资源的根优先于其他器官生长,以加强对肥料的吸收<sup>[23]</sup>,因此氮素营养对作物根冠比具有重要影响,作物施氮量增加,根冠比降低<sup>[24]</sup>,这与 CK 的地下部鲜质量、干质量和根冠比表现相符。

在本试验条件下,与常规施肥相比,增施 0.16 g/L 羽毛降解氨基酸肥的白菜 SPAD 值提高了 6.63%,地上部鲜质量、干质量分别提高了 21.23%、18.74%,具有较高的肥效。但这仅仅是单一浓度对白菜的试验结果,而羽毛降解氨基酸肥对白菜的最佳使用浓度及其在其他作物上的肥效,还需后期进一步探索和试验。

#### 参考文献:

- [1] 袁凤英,朱孔杰,李秀芹,等. 浅谈含氨基酸水溶肥的应用[J]. 山东化工,2015,44(14):111-112.
- [2] 袁伟,董元华,王辉. 植物氨基酸多元肥料生物效应的研究进展[J]. 土壤,2009,41(1):16-20.
- [3] 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.
- [4] 刘伟. 氨基酸态氮对蔬菜的营养效应及有机营养液对蔬菜产量和品质影响研究[D]. 南京:南京农业大学,2002.
- [5] 魏启舜,赵荷娟,周影,等. 施用羽毛生物降解液对白菜生长和基质养分的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):156-159.
- [6] 魏启舜,赵荷娟,郭成宝,等. 羽毛生物降解氨基酸肥对草莓生长和果实品质的影响[J]. 中国农学通报,2018,35(32):46-52.
- [7] Wang L, Qian Y T, Cao Y, et al. Production and characterization of keratinolytic proteases by a chicken feather-degrading thermophilic strain, *Thermoactinomyces* sp. YT06 [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2017, 27(12):2190-2198.
- [8] 中华人民共和国农业部. 含氨基酸水溶肥料: NY 1429—2010 [S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [9] 曹小阔. 土壤氨基酸态氮对植物的氮营养贡献及其地带性分布规律[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [10] Uddlin J, Gelang - Alfredsson J, Piikki K, et al. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD - 502 chlorophyll meter readings [J]. Photosynthesis Research, 2007, 91(1):37-46.
- [11] 苏小俊,袁希汉,庄勇,等. 剪除大、小白菜部分子叶对生长的

程凯龙,李晓琳,刘大伟,等. 白花蛇舌草种子萌发的光敏感性[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):164-168.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.031

# 白花蛇舌草种子萌发的光敏感性

程凯龙<sup>1</sup>, 李晓琳<sup>2</sup>, 王瑞霞<sup>1</sup>, 杨凤玲<sup>1</sup>, 刘大伟<sup>1</sup>, 刘宗瑞<sup>1</sup>, 王妮娜<sup>1</sup>, 郭元棣<sup>1</sup>, 冯佳丽<sup>1</sup>, 朱梦婷<sup>1</sup>

(1. 临沂大学农林科学学院, 山东临沂 276000; 2. 中国中医科学院中药资源中心, 北京 100700)

**摘要:**探求白花蛇舌草种子的光敏感性, 以期为白花蛇舌草野外资源的恢复和栽培生产提供技术支持。研究温度、光照、植物生长调节剂( $\text{GA}_3$ 、6-BA、乙烯和 IAA) 和含氮化合物( $\text{NaNO}_2$ 、硝普钠和  $\text{NaNO}_3$ ) 等对白花蛇舌草种子萌发的影响。结果显示, 在 25~30 ℃ 时, 光照促进白花蛇舌草种子的萌发, 黑暗则抑制其种子的萌发, 光周期和光质分别以 24 h 光照/0 h 黑暗和白光的效果最好;  $\text{GA}_3$ 、IAA、6-BA、 $\text{NaNO}_2$  和  $\text{NaNO}_3$  会显著抑制白花蛇舌草种子的萌发, 不能在黑暗条件下促进种子萌发, 而 0.000 1~0.01 mmol/L 的乙烯利可以显著促进白花蛇舌草种子的萌发, 0.01 mmol/L 硝普钠可适当提高白花蛇舌草种子的发芽率。白花蛇舌草种子萌发的最佳技术体系: 在 25~30 ℃、24 h 光照/0 h 黑暗的白光下, 用 0.000 1~0.01 mmol/L 的乙烯利处理种子, 可以提高发芽率; 同时, 0.01 mmol/L 硝普钠可以代替光照诱导萌发。

**关键词:**白花蛇舌草; 光敏感性; 萌发; 植物生长调节剂; 含氮化合物

**中图分类号:**S567.21+9.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)22-0164-05

白花蛇舌草 (*Hedyotis diffusa* Willd.) 为茜草科 (Rubiaceae) 耳草属, 1 年生无毛纤细披散草本。产于广东、香港、广西、海南、安徽、云南等地。据 2010 年《中华人民共和国药典》记载, 白花蛇舌草以全草

入药, 具有清热解毒、利湿消肿、活血止痛、抗肿瘤等功效<sup>[1]</sup>。内服用于治疗肿瘤、蛇咬伤、小儿疳积等; 外用用于治疗泡疮、刀伤、跌打等。是近年来研究较多的抗癌中草药之一, 广泛用于治疗多种恶性肿瘤, 市场需求量大增。因此, 提高白花蛇舌草的栽培产量和质量, 对于满足其市场供应和保护其野生资源具有重要作用。白花蛇舌草的繁殖是播种繁殖, 研究白花蛇舌草种子萌发特性对白花蛇舌草资源的恢复和栽培标准化操作规程的制定具有重要意义。

收稿日期: 2020-01-09

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (编号: 31600363)。

作者简介: 程凯龙 (1997—), 男, 山东潍坊人, 主要从事种子生物学研究。E-mail: 3296519160@qq.com。

通信作者: 王瑞霞, 博士, 副教授, 主要从事种子生物学的研究。

E-mail: wrx\_happy@163.com。

影响[J]. 江苏农业科学, 1997(2): 48-50.

[12] 吕锡山. 不同品种小白菜的生物学性状及品质比较研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.

[13] 苏欣. 氮肥水平对几种蔬菜产量、品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.

[14] 刘井良, 王丽华, 李杰勤, 等. 10 个黑麦草品种叶片 SPAD 值、叶绿素含量和蛋白质含量的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 83-86.

[15] 董瑞, 吕厚波, 张保军, 等. 叶面喷施氮肥对小麦 SPAD 值及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(1): 99-104.

[16] 张连秋, 杨玉岭, 朱哲, 等. 氨基酸肥料在生产中的应用进展[J]. 农业灾害研究, 2014(6): 52-53, 59.

[17] 樊俊, 郑诗樟, 胡红青, 等. 施用叶面肥对不同基肥处理小白菜效果的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 29-34.

[18] 金安世, 郭鹏程. 作物耐氮力及氮对产量品质的影响[J]. 土壤通报, 1992(6): 257-259.

[19] 徐子龙, 龙可人, 李祥富, 等. 角蛋白降解的研究现状及应用[J]. 生物化工, 2017(4): 77-83.

[20] 徐淑班, 李广涛, 袁凤英, 等. 浅述蛋白废弃物生产氨基酸肥料[J]. 广东化工, 2014, 41(17): 103-104.

[21] 王胜涛, 宗静, 贾小红. 北京市测土配方项目实施区县土壤养分状况分析与评价[J]. 北京农业, 2007(10): 113-120.

[22] Grechi, Vivin p, Hilbert G, et al. Effect of light and nitrogen supply on internal C : N balance and control of root - to - shoot biomass allocation in grapevine [J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 59(2): 139-149.

[23] Wilson J B. A review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models [J]. Annals of Botany, 1988, 61(4): 433-449.

[24] 王艳哲, 刘秀位, 孙宏勇, 等. 水氮调控对冬小麦根冠比和水分利用效率的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 20-27.