

# 叶绿素仪和硝酸盐反射仪对大白菜氮素营养诊断的比较研究

朱丽丽<sup>1</sup>, 李井会<sup>1</sup>, 宋述尧<sup>2</sup>

(1. 松原职业技术学院, 吉林 松原 138000; 2. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118)

**摘要:** 本文在6个氮肥处理下, 利用叶绿素仪和硝酸盐反射仪对大白菜的氮素营养诊断进行研究, 筛选出适合的诊断方法, 并根据诊断指标建立大白菜的氮肥推荐施肥模型。结果表明, 大白菜莲座期和结球期的叶片SPAD值和叶柄硝酸盐浓度与施氮量、植株全氮含量均有较好的相关性, SPAD值和叶柄硝酸盐浓度都能反映大白菜氮素营养状况, 但相关系数SPAD值高于叶柄硝酸盐浓度, 叶绿素仪法更适合大白菜氮素营养快速诊断。在大白菜莲座期和结球期, 叶片SPAD临界值分别为38.57、40.36, 基于叶片SPAD值的氮肥推荐模型能够进行大白菜各生育时期的推荐氮肥施用。

**关键词:** 大白菜; 叶绿素仪; SPAD值; 硝酸盐反射仪; 氮素营养诊断

中图分类号: S634.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)05-0065-04

## Comparison of Chlorophyll Meter and Nitrate Reflectometer of Nitrogen Nutrition Diagnosis of Chinese Cabbage

ZHU Lili<sup>1</sup>, LI Jinghui<sup>1</sup>, SONG Shuyao<sup>2</sup>

(1. Songyuan Vocational Technical College, Songyuan 138000; 2. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** Under six nitrogen fertilizer treatments, nitrogen nutrition diagnosis of Chinese cabbage was studied by chlorophyll meter and nitrate reflectometer. The aim of the study was to build Chinese cabbage nitrogen fertilization recommendation model by using the most suitable diagnosis approach. The results indicated that SPAD value of leaves and nitrate concentration of petioles at rosette and heading stage of Chinese cabbage were well correlated with nitrogen application rate and total nitrogen content of plants. SPAD value of leaves and nitrate concentration of petioles can reflect nitrogen nutrition status of Chinese cabbage, however the correlation coefficient of SPAD value of leaves was better than nitrate concentration of petioles. Chlorophyll meter is more suitable for rapid diagnosis of nitrogen nutrition of Chinese cabbage. The critical SPAD values of leaves were 38.57 and 40.36, respectively in two growth stages of Chinese cabbage. Nitrogen recommendation model based on SPAD value of leaves can be used to recommend nitrogen fertilizer application in different growth stages of Chinese cabbage.

**Key words:** Chinese cabbage; Chlorophyll meter; SPAD value; Nitrate reflectometer; N nutrition diagnosis

保证产量的同时将氮肥用量合理化是大白菜生产中急需解决的问题。如何快速准确诊断出大白菜氮素营养状况对氮肥合理施用具有重要意义。氮素营养诊断的方法很多, 植株全氮含量比较准确, 且能够很好反映植物氮素营养状况, 但其操作过于复杂, 用时较长, 不适合在生产中快速诊断氮素营养<sup>[1-3]</sup>。近年来, 叶绿素仪、硝酸盐

反射仪以其快速诊断氮素营养状况, 已在小麦、玉米、马铃薯、黄瓜、油菜、甘蓝、蕹菜等作物氮素营养诊断上有应用研究<sup>[4-12]</sup>, 但在大白菜营养诊断方面鲜有应用研究<sup>[13-14]</sup>, 且两种氮素营养诊断方法都有一定的局限性, 而筛选出大白菜适宜的诊断方法在生产中尤为重要。前人只针对单一诊断技术在大白菜营养诊断中的应用进行研究, 未进行不同氮素营养诊断技术的比较研究。本试验通过分析不同施氮量下大白菜主要生长时期叶片叶绿素仪读数、硝酸盐浓度与施氮量及植株全氮含量的关系, 筛选出适合大白菜氮素营养诊断的方法, 并进行推荐氮肥施用, 以期为大白菜生产氮

收稿日期: 2019-04-09

基金项目: 吉林省现代农业产业技术体系项目(201806)

作者简介: 朱丽丽(1981-), 女, 副教授, 硕士, 从事蔬菜栽培生理研究。

素营养调控提供依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 试验材料与 设计

供试大白菜品种为“乡情80”，供试土壤的理化性状为：pH值6.56、有机质2.41 g/kg、土壤无机氮26.07 mg/kg、速效磷104.05 mg/kg、速效钾170 mg/kg。试验设有0、82.5、165、247、330、412.5 kg/hm<sup>2</sup> 6个氮肥处理，分别以基肥、莲座初期施肥、结球初期施肥方式施入，施肥比例为1:2:3，磷肥(过磷酸钙525 kg/hm<sup>2</sup>)、钾肥(硫酸钾225 kg/hm<sup>2</sup>)以基肥的形式施入。小区面积18 m<sup>2</sup>，随机区组排列，每个处理设3次重复。

#### 1.2 测试项目和 方法

SPAD值采用SPAD-502叶绿素仪测定，每个处理随机取30株，测定最新完全展开叶距离叶基部的3/5~4/5区域，记录平均值；叶柄硝酸盐浓度采用Merck RQflex反射仪和硝酸盐试纸条测定，取叶柄榨汁，适当用蒸馏水稀释后再测定；植株全氮含量采用凯式定氮法测定；采收时每个小区随机测产。

#### 1.3 数据处理

采用SPSS 17.0软件和Excel 2013进行数据分析和图表制作。

### 2 结果与分 析

#### 2.1 大白菜叶片 SPAD 值、叶柄硝酸盐浓度对施氮量的响应

由图1和图2可知，大白菜莲座期和结球期的叶片SPAD值和叶柄硝酸盐浓度均随着施氮量的增加而增加，且均与施氮量有显著的线性相关关系。叶片SPAD值、叶柄硝酸盐浓度均可以很好地反映大白菜施氮量的变化趋势，在一定程度上体现了大白菜氮素营养状况，两者均可作为大白菜氮素营养诊断指标。叶片SPAD值与施氮量的相关系数分别为0.8984、0.9311，叶柄硝酸盐浓度与施氮量的相关系数分别为0.8911、0.9114，且结球期的两个营养诊断指标与施氮量的相关水平均更显著。在大白菜莲座期和结球期，叶片SPAD值与施氮量的相关系数明显高于叶柄硝酸盐浓度与施氮量的相关系数，说明叶绿素仪对大白菜氮素丰缺的反应更灵敏，表明SPAD值较叶柄硝酸盐浓度能更好地反映大白菜氮素营养状况。

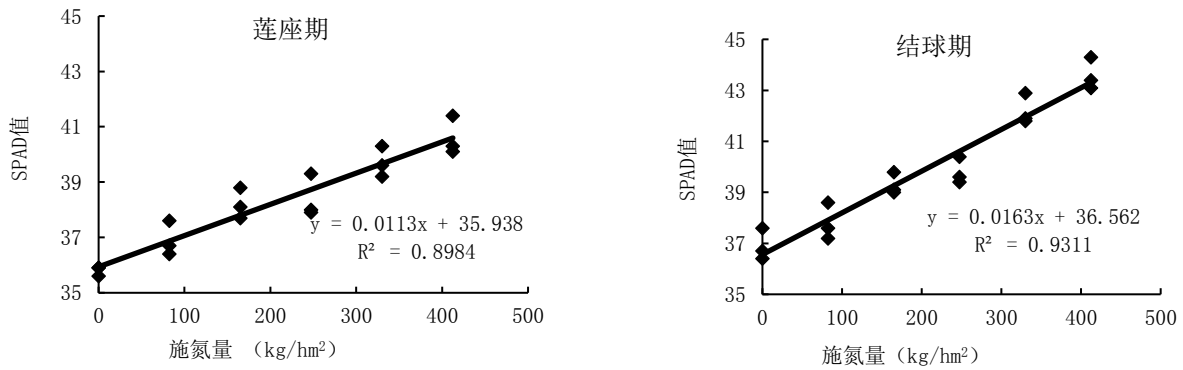


图1 大白菜各生育时期施氮量与叶片 SPAD 值的关系

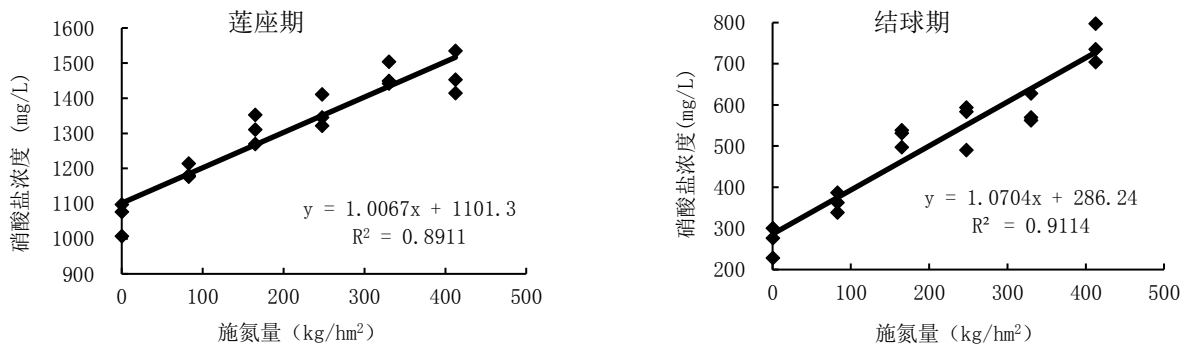


图2 大白菜各生育时期施氮量与叶柄硝酸盐浓度的关系

### 2.2 大白菜叶片 SPAD 值、叶柄硝酸盐浓度与植株全氮含量的关系

在大白菜莲座期和结球期,植株全氮含量随着 SPAD 值的增加而增加,叶片 SPAD 值与植株全氮含量有很好的线性相关关系;各生育时期植株全氮含量随着叶柄硝酸盐浓度的变化趋势与 SPAD 值相似,也呈较好的线性相关关系。叶片

SPAD 值与植株全氮含量的相关系数分别为 0.9255、0.8678,叶柄硝酸盐浓度与植株全氮含量的相关系数分别为 0.8431、0.8544(图 3、图 4)。各生育时期的叶片 SPAD 值与植株全氮含量的相关系数明显高于叶柄硝酸盐浓度与植株全氮含量的相关系数,这进一步说明 SPAD 值较叶柄硝酸盐浓度能更好地反映大白菜氮素营养状况。

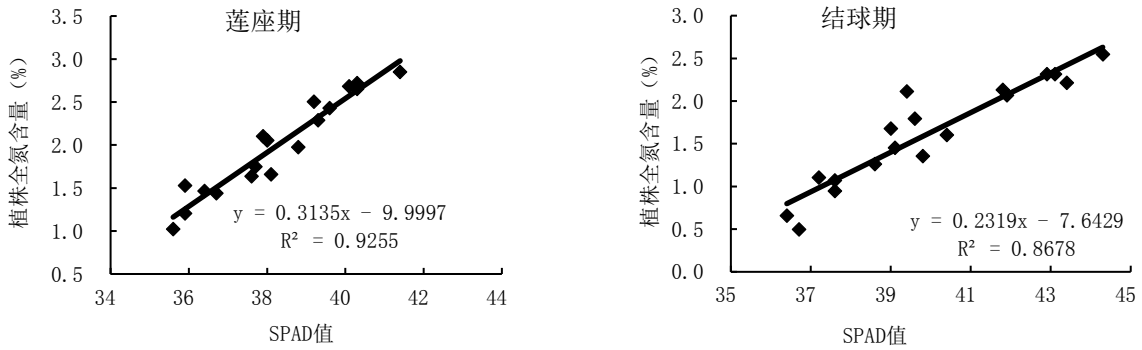


图 3 大白菜各生育时期叶片 SPAD 值与植株全氮含量的关系

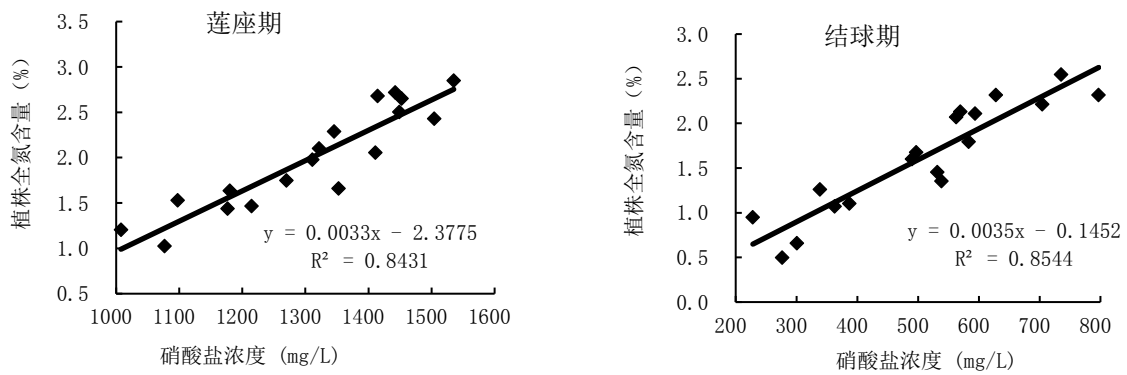


图 4 大白菜各生育时期叶柄硝酸盐浓度与植株全氮含量的关系

### 2.3 大白菜氮素营养诊断 SPAD 值的确定及氮肥推荐模型的建立

由图 5 可知,在一定施氮量的范围内,大白菜的产量由随着施氮量的增加而增加,当施氮量达到一定程度,产量增加的趋势不明显。采用线性加平台模型对施氮量与产量的关系进行拟合,得

出二者的关系: $y=149.8x+84\ 385(x<321.2\text{ kg/hm}^2)$ ;  $y=132\ 500.9(x\geq 321.2\text{ kg/hm}^2)$ 。由线性加平台模型得出大白菜的最高产量分别为  $132\ 500.9\text{ kg/hm}^2$ ,对应的施氮量为  $321.2\text{ kg/hm}^2$ 。此施氮量可作为大白菜获取最高产量的整个生育期的参考施氮量。

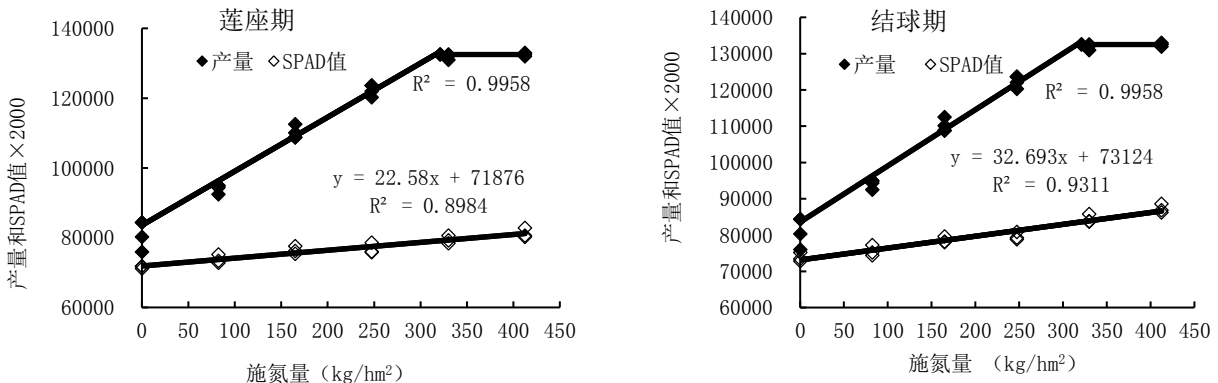


图 5 大白菜各生育时期施氮量与产量、SPAD 值的关系

施氮量与产量、叶片 SPAD 值均有很好的相关关系(图 5),当施氮量为 321.2 kg/hm<sup>2</sup>时,大白菜达到最高产量。与此对应的莲座期和结球期的最适 SPAD 值分别为 39.57、41.80。将最高产量的 90% 作为临界值,根据施氮量与产量的关系,确定临界施氮量为 232.7 kg/hm<sup>2</sup>,再根据不同生育时期 SPAD 值与施氮量的函数关系,确定莲座期和结球期的临界 SPAD 值分别为 38.57、40.36。

依据施氮量与大白菜叶片 SPAD 值的线性相关关系以及施氮量与产量的拟合方程,可以建立 SPAD 值诊断推荐施肥模型。设图 5 所示施氮量与 SPAD 值的线性关系中求出的各生育期测定 SPAD 值前的氮肥水平为  $N_{fer}$ ,整个生育期的最佳施氮量为  $N_{opt}$ ,各生育阶段的施氮量为  $N_d$ ,则各生育期施氮量为:

$$N_d = N_{opt} - N_{fer} \dots\dots\dots(1)$$

$$N_{fer} = (SPAD - a) / b \dots\dots\dots(2)$$

将(2)式代入(1)式,可得到 SPAD 值诊断推荐施肥模型:

$$N_d = N_{opt} - SPAD / b + a / b \dots\dots\dots(3)$$

式中, a 为 SPAD 值和施氮量线性方程的截距, b 为方程回归系数。将该试验中得到的最佳施氮量以及 a、b 值代入推荐施肥模型,可得到大白菜各生育时期的氮肥推荐追肥模型(表 1)。

表 1 大白菜各生育时期氮肥推荐模型

生育期	a	b	氮肥推荐模型
莲座期	35.938	0.0113	$N_d = -88.5SPAD + 3501.6$
结球期	36.562	0.0163	$N_d = -66.3SPAD + 2564.3$

### 3 讨论与结论

通过对不同施氮量条件下大白菜叶片 SPAD 值、叶柄硝酸盐浓度与施氮量及植株全氮含量的相关分析表明,在大白菜莲座期和结球期,随着施氮量的增加叶片 SPAD 值增加,且有显著的相关关系,这与张富林等<sup>[13]</sup>的研究结果一致;叶柄硝酸盐浓度也随着施氮量的增加而增加,这与高艳明等<sup>[14]</sup>的研究结果相似。试验还得出大白菜叶片 SPAD 值、叶柄硝酸盐浓度与植株全氮含量有较好相关性,进一步说明叶片 SPAD 值及叶柄硝酸盐浓度能很好地反映大白菜氮素营养状况。所以叶绿素仪和反射仪均可以进行大白菜氮素营养诊断。但从试验比较分析发现,SPAD 值比叶柄硝酸盐浓度与施氮量、植株全氮含量的相关性更显著,更能反映氮素的营养状况,因此叶绿素仪更

适宜于大白菜氮素营养诊断。这与李银水等<sup>[10]</sup>在油菜上的研究结果一致,而与夏文豪等利用硝酸盐反射仪和 SPAD 法对玉米氮素营养诊断的比较研究结果不一致<sup>[6]</sup>。这与作物种类对氮素营养状况的反映不同有关,再者与不同作物对于采用叶绿素仪和硝酸盐反射仪两种方法诊断时的误差大小有关。

本文在比较叶绿素仪和硝酸盐反射仪对大白菜氮素营养诊断的基础上,通过施氮量与产量的关系分析,采用线性加平台模型得出大白菜的最高产量时对应的最佳施氮量为 321.2 kg/hm<sup>2</sup>。这一结果与李俊良利用线性加平台模型对施肥量与产量的关系研究结果相似,但最佳施氮量有一定差异,可能是由于栽培环境和大白菜的品种不同导致<sup>[15]</sup>。本试验在筛选出大白菜氮素营养快速诊断更适合的方法基础上,通过对施氮量与产量、叶片 SPAD 值的相关关系分析,得出莲座期和结球期的最适 SPAD 值分别为 39.57、41.80,临界 SPAD 值分别为 38.57、40.36;并建立了大白菜两个时期的氮肥推荐模型。要使叶绿素仪氮素营养诊断技术应用于生产实际,对基于 SPAD 值的氮肥推荐模型需要在不同地区、不同大白菜品种方面展开进一步研究。

### 参考文献:

[ 1 ] 贾良良,陈新平,张福锁.作物氮营养诊断的无损测试技术[J].世界农业,2001(6):36-37.  
 [ 2 ] 万春雁,糜林,李金凤,等.氮素营养诊断技术在我国园艺作物上的应用现状[J].江苏农业科学,2011,39(6):322-324.  
 [ 3 ] 吴春燕,宋廷宇,张晓明,等.氮肥对大白菜生长及产量的影响[J].吉林农业科学,2014,39(5):80-83.  
 [ 4 ] 贾良良,陈新平,张福锁.叶绿素仪与植株硝酸盐浓度测试对冬小麦氮营养诊断准确性的比较研究[J].华北农学报,2007,22(6):157-160.  
 [ 5 ] 朱云,史力超,冶军,等.滴灌春小麦氮素营养诊断施肥方法研究[J].麦类作物学报,2015,35(1):93-98.  
 [ 6 ] 夏文豪,刘涛,关钰,等.硝酸盐反射仪和 SPAD 法对玉米氮素营养诊断的比较[J].中国生态农业学报,2016,24(10):1339-1346.  
 [ 7 ] 李井会.不同氮肥运筹下马铃薯氮素利用特性及营养诊断的研究[D].长春:吉林农业大学,2006.  
 [ 8 ] 陈百翠,魏峭嵘,石瑛,等.SPAD 值在马铃薯氮素营养诊断和推荐施肥中的研究与应用[J].吉林农业科学,2014,39(4):26-30,38.  
 [ 9 ] 武新岩,郭建华,方正,等.SPAD 计在黄瓜氮素营养诊断中的应用效果[J].北方园艺,2010(11):13-16.  
 [ 10 ] 李银水,余常兵,廖星,等.三种氮素营养快速诊断方法在油菜上的适宜性分析[J].中国油料作物学报,2012,34(5):508-513.

- [ 1 ] 江城梅,赵文红,赵 红.食品中丙烯酰胺产生机制和危害的研究进展[J].蚌埠医学院学报,2008,33(3):375-377.
- [ 2 ] Swedish N F A. Information About Acrylamide in Food[J]. Swedish National Food Administration, 2002, 4: 24.
- [ 3 ] Ahn J S, Castle L, Clarke D B, et al. Verification of the findings of acrylamide in heated foods[J]. Food Additives and Contaminants, 2002, 19(12): 1116-1124.
- [ 4 ] Curtis T Y, Postles J, Halford N G. Reducing the potential for processing contaminant formation in cereal products[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59(3): 382-392.
- [ 5 ] Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, et al. Analysis of Acrylamide, a Carcinogen Formed in Heated Food stuffs[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(17):4998-5006.
- [ 6 ] 周 宇,朱圣陶.食品中丙烯酰胺污染的研究进展[J].中华预防医学杂志,2004,38(5):73-75.
- [ 7 ] Paulsson B, Grawé J, Törnqvist M. Hemoglobin adducts and micronucleus frequencies in mouse and rat after acrylamide or N-methylacrylamide treatment[J]. Mutation Research, 2002, 516(1): 101-111.
- [ 8 ] Van D P M L, Van D H D A, Tates A D, et al. Formation of N-7-(2-carbamoyl-2-hydroxyethyl) guanine in DNA of the mouse and the rat following intraperitoneal administration of [<sup>14</sup>C]acrylamide[J]. Carcinogenesis, 1995, 16(5): 1161-1163.
- [ 9 ] European council Drinking water directive EU 98/93/EC[S]. Bussels, 1998.
- [ 10 ] 张辉珍.食品中丙烯酰胺等有毒有害物质检测方法建立及其应用研究[D].青岛:青岛大学,2010.
- [ 11 ] Risica S, Grande S. Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption[M]. Italy: Istituto Superiore di Sanita', Rome (Italy), 2000: 52-53.
- [ 12 ] GB5749-2006,生活饮用水卫生标准[S].2006.
- [ 13 ] 朱雨辰,王 菲,宋 柬,等.食品中丙烯酰胺的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2013,4(2):313-320.
- [ 14 ] 章 宇.生物黄酮抑制食品中丙烯酰胺形成的机理及其构效关系研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [ 15 ] 项雷文,邹文桐,陈文韬.高效液相色谱法测定福清光饼中丙烯酰胺含量[J].福建轻纺,2012,7(7):28-31.
- [ 16 ] 樊 祥,方晓明,陈家华,等.液相色谱-串联四极质谱对食品中丙烯酰胺的测定研究[J].分析测试学报,2005,24(3):82-85.
- [ 17 ] Roach J A G, Andrzejewski D, Gay M L, et al. Rugged LC-MS/MS Survey Analysis for Acrylamide in Foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(26):7547-7554.
- [ 18 ] 杨斯超,张 慧,汪俊涵,等.柱前衍生化-气相色谱-质谱法定量测定食品中丙烯酰胺的含量[J].色谱,2011,29(5):404-408.
- [ 19 ] 周 宇,朱圣陶.气相色谱法测定油炸、烘烤食品中丙烯酰胺-丙烯酰胺污染水平调查[J].理化检验:化学分册,2007,43(11):928-930.
- [ 20 ] 付云洁,李 琦,陈江源,等.ELISA法测定热加工食品中的丙烯酰胺[J].中国酿造,2011,30(5):77-79.
- [ 21 ] 蒋雪松,王剑平,应义斌,等.用于食品安全检测的生物传感器的研究进展[J].农业工程学报,2007,23(5):272-277.
- [ 22 ] Niaz A, Sirajuddin, Shah A, et al. A new simple sensitive differential pulse polarographic method for the determination of acrylamide in aqueous solution[J]. Talanta, 2008, 74(5):1608-1614.
- [ 23 ] Tezcan F, Erim F B. On-line stacking techniques for the non-aqueous capillary electrophoretic determination of acrylamide in processed food[J]. Analytica Chimica Acta, 2008, 617(1):196-199.
- [ 24 ] 郭梅燕,李广领,谷珊山,等.土壤中氟磺草醚残留的高效液相色谱分析方法建立与优化[J].吉林农业科学,2014,39(1):68-70.
- [ 25 ] 董姊怡,王安冀,李卫东.高效液相色谱法测定欧李不同部位γ-氨基丁酸的含量[J].东北农业科学,2017,42(2):60-64.
- [ 26 ] 孙凤祥,赵浮梅,杨晓云.丙烯酰胺对小鼠的毒性作用[J].中国公共卫生,2004,20(5):569-570.
- [ 27 ] 罗 荣,赵 维.食物中丙烯酰胺对人体毒性研究[J].中国预防医学杂志,2004,5(5):416-418.
- [ 28 ] Bull R J, Robinson M, Laurie R D, et al. Carcinogenic effects of acrylamide in Sencar and A/J mice[J]. Cancer Research, 1984, 44(1): 107-111.

(上接第68页)

- [ 11 ] 曹云娥,高艳明.结球甘蓝氮素营养快速诊断及最佳用量研究[J].北方园艺,2007(7):7-10.
- [ 12 ] 程 艳,吴春燕,张晓旭,等.菠菜叶片SPAD值与叶绿素含量的相关性分析[J].东北农业科学,2018,43(4):44-47.
- [ 13 ] 张富林,杨 利,熊桂云,等.大白菜硝酸盐含量和叶片SPAD值与氮肥用量关系研究[J].湖北农业科学,2011(23):4839-4843.
- [ 14 ] 高艳明,曹云娥,李建设,等.春大白菜田间氮素营养快速诊断及最佳用量研究[J].中国土壤与肥料,2007(6):61-63.
- [ 15 ] 李俊良,张晓晟,孟祥霞,等.大白菜氮肥推荐施用技术的研究[J].莱阳农学院学报,2002,19(2):83-85.