

孙晓,姜学玲,杨剑超,等.不同施肥模式对菜田土壤理化性质及产量的影响[J].江苏农业科学,2020,48(7):169-173.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.032

# 不同施肥模式对菜田土壤理化性质及产量的影响

孙晓<sup>1</sup>,姜学玲<sup>1</sup>,杨剑超<sup>1</sup>,陈康<sup>2</sup>,张占田<sup>1</sup>,张广和<sup>1</sup>,崔玉明<sup>2</sup>,江丽华<sup>3</sup>,崔荣宗<sup>3</sup>

(1.山东省烟台市农业科学研究院,山东烟台 265500; 2.鲁东大学化学与材料科学学院,山东烟台 264025;

3.山东省农业科学院农业资源与环境研究所,山东济南 250100)

**摘要:**为指导大田蔬菜合理施肥,设置7个不同的养分施用处理(习惯施肥、不施化学氮肥、优化施肥、纯施化肥、缓控氮肥、缓控氮肥减氮25%、有机替代25%氮肥)研究不同施肥对蔬菜经济产量及土壤性质的影响。结果表明,纯施化肥处理2季蔬菜经济产量均最高,分别为196.03、14.10 t/hm<sup>2</sup>,优化施肥处理白菜季总生物量及经济产量均较低,马铃薯季总生物量最低,但经济产量并不低,反而高于习惯施肥处理及有机替代25%氮肥处理。白菜收获指数显著高于马铃薯,不同施肥模式下白菜的收获指数差异不大,不施氮肥处理马铃薯收获指数高达59.46%,显著高于其他各处理,氮肥施用量最高的习惯施肥处理的马铃薯收获指数仅为45.26%,显著低于其他处理。不同施肥处理对土壤性质的影响不同,2季收获后,不施氮肥处理的pH值均最高,氮肥施用量最高的处理pH值均最低。种植蔬菜后,除有机肥替代25%氮肥处理外,其他各处理土壤有机质含量均有所下降,且不施氮肥处理有机质含量下降要甚于纯施化肥处理。综上所述,化肥尤其是氮肥对菜田经济产量及土壤性质的影响显著;叶菜类蔬菜在一定施氮范围内可提升经济产量,而根茎类蔬菜,施氮尤其是过量施氮反而不利于产量的提升;氮肥对土壤有一定的酸化作用,但适量施用氮肥有利于土壤有机质得以保留;增施有机肥可缓解土壤有机质的损耗,提升土壤交换性能,有利于土壤质量的改善,故合理施用氮肥并配施有机肥对提高蔬菜经济产量、改善土壤质量有重要意义。

**关键词:**施肥模式;白菜;马铃薯;生物量;经济产量;土壤性质;收获指数;阳离子交换量

**中图分类号:** S143;S634.306;S532.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0169-05

蔬菜含有多种维生素和矿物质,人体必需的维生素C的90%和维生素A的60%来自蔬菜,对保障人体健康和提升生活品质有着重要作用。施肥是提升作物产量与品质的有效手段,大量试验对肥料的培肥增产作用予以充分的肯定,对于高度集约化的蔬菜种植,肥料投入是普通大田作物的数倍甚至数十倍<sup>[1-3]</sup>。目前,我国蔬菜施肥尤其是氮肥施用量普遍偏高<sup>[4]</sup>,不仅造成土壤养分过量累积,降低化肥当季利用率,加剧蔬菜硝酸盐含量超标风险<sup>[5]</sup>,不利于蔬菜产量增加和品质提升,并且可能带来土壤板结、土壤酸化、温室气体排放加剧等环境问题<sup>[6]</sup>。由于施肥不合理导致的土壤养分不平衡已成为提高产量、改善营养品质、维系菜田可持续发展的限制因子,因此本研究以北方冬储白菜轮

作粮菜两用马铃薯这2种北方常用蔬菜为研究对象,探讨不同施肥处理对其产量及土壤基本理化性质的影响,揭示不同施肥模式对北方蔬菜产量的影响规律,为北方蔬菜尤其是胶东地区露地蔬菜种植提供基础数据和科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验于山东省烟台市农业科学研究院试验农场内(121°17'49"E,37°29'31"N,位于烟台市福山区)进行,温带季风性气候,四季分明,2017年全年降水量622.4 mm,年均温13.5℃,日照时数2558.6 h,无霜期234 d。供试土壤为棕壤,前茬作物为大葱,试验前表层土壤基本理化性状为:pH值6.94、有机质含量15.03 g/kg、铵态氮含量14.87 mg/kg、硝态氮含量49.62 mg/kg、有效磷含量33.66 mg/kg、速效钾含量33.90 mg/kg、阳离子交换量14.26 cmol/kg。

### 1.2 试验设计与方法

试验设7个处理,分别为习惯施肥(A)、不施化学氮肥(B)、优化施肥(C)、纯施化肥(D)、缓控氮肥(E)、缓控氮肥减氮25%(F)、有机肥替代25%氮

收稿日期:2019-03-13

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0200103);山东省农业科学院农业科技创新工程(编号:CXGC2016A06)。

作者简介:孙晓(1984—),女,山东青岛人,博士,农艺师,主要从事精准施肥、废弃物利用等研究。E-mail:hellosunxiao@163.com。

通信作者:崔荣宗,研究员,主要从事植物营养与施肥技术研究。E-mail:rzcui@ipni.ac.cn。

肥(G),肥料具体施用情况详见表1。供试肥料为磷酸氢二铵、尿素、钙镁磷肥、氯化钾、包膜尿素及商品有机肥,马铃薯季所有肥料均一次性基施。白菜季有机肥全部基施,处理A中30%氮肥、70%磷肥和30%钾肥作为基肥,剩余肥料在莲座期追施;

处理E和处理F中所有肥料均一次性基施;其他处理中30%氮肥、70%磷肥和30%钾肥作基肥,莲座期追施40%氮肥、30%磷肥和40%钾肥,结球初期追施剩余肥料。基施肥料全部撒施,追施肥料全部沟施。

表1 各处理肥料施用量

施肥处理	白菜季各肥料施用量(kg/hm <sup>2</sup> )				马铃薯季各肥料施用量(kg/hm <sup>2</sup> )			
	有机肥	氮肥(N)	磷肥(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	钾肥(K <sub>2</sub> O)	有机肥	氮肥(N)	磷肥(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	钾肥(K <sub>2</sub> O)
A	1 200	30.0	90	180.0	4 500	160.0	60	225.0
B	3 000	0.0	90	180.0	3 000	0.0	60	225.0
C	3 000	225.0	90	180.0	3 000	120.0	60	225.0
D	0.0	251.6	90	204.3	0.0	132.3	60	249.3
E	3 000	225.0	90	180.0	3 000	120.0	60	225.0
F	3 000	168.8	90	180.0	3 000	90.0	60	225.0
G	9 342	168.8	90	128.6	6 383	90.0	60	197.6

每个处理设3次重复,随机排列,每个小区50 m<sup>2</sup>,于2017年8月17日播种白菜,供试品种为87-114,起垄种植,每小区起8垄,株距40 cm,共定植168株,折合3.36万株/hm<sup>2</sup>,正常田间管理,11月22日测产收获;2018年3月19日种植马铃薯,供试品种为荷兰3号,1垄双行种植,每个小区起7垄,株距25 cm,正常田间管理,6月12日测产收获。

### 1.3 测试项目及方法

每季收获时,采集各个小区表层(0~20 cm)土样,风干过筛后用于基本性质的测定,其中pH值用酸度计测得;铵态氮含量采用氯化钾浸提-靛酚蓝比色法测定;硝态氮含量采用氯化钾浸提-紫外分光光度法测定<sup>[7]</sup>;有效磷含量采用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法测得;阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法测定;交换性盐基离子通过乙酸铵浸提-原子吸收分光光度计法测定<sup>[8]</sup>。此外,收获时每个小区选取长势均匀具有代表性的15株白菜或3个2 m长单垄样方内的马铃薯,白菜逐株称质量,马铃薯逐样方称质量,计算各处理经济产量。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2010和SPSS 19.0对数据进行处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥模式对2季蔬菜产量的影响

如表2所示,对白菜季而言,处理C的总生物量与经济产量均最低;处理D的总生物量与经济产量最高,其中总生物量显著高于其他各处理,经济

产量显著高于处理B、处理C、处理G,较其他处理增产不显著;各处理经济产量表现为处理E>处理F>处理B>处理C。对马铃薯季而言,受2季施肥的影响,各处理产量差异较白菜季更显著,处理C的总生物量最高,显著高于处理B及处理G,与其他处理差异不显著;处理D的经济产量最高,其次为处理C,两者均显著高于处理A,与其他处理差异不显著;处理B的总生物量最低,但经济产量并不低,反而高于处理A及处理G。习惯施肥处理下氮肥施用量最大,但经济产量反而最低,这与其他学者的研究结果“过量施用氮肥并不利于马铃薯产量的提升”<sup>[9-11]</sup>一致。

由图1可知,叶菜类白菜的收获指数整体高于根茎类马铃薯,介于68.86%~72.35%之间,不同施肥模式下的白菜收获指数差异不显著。而不同施肥模式对马铃薯收获指数的影响较大,处理B的地上生物量最低,而经济产量仅略低,收获指数高达59.46%,显著高于其他各处理;而氮肥施用量最高的习惯施肥处理的马铃薯地上部生物量最高,但经济产量和收获指数均最低,其收获指数仅为45.26%,显著低于其他各处理;其他施肥处理下马铃薯的收获指数介于49.71%~54.09%之间,彼此间差异不显著。

### 2.2 不同施肥模式对土壤pH值和交换性能的影响

由图2可知,试验前表层土壤pH值为6.94,白菜收获后除处理B的pH值维持不变,其他各处理均有不同程度下降,其中处理D的pH值最低,下降了0.34,处理A和处理E次之,处理G下降较少。

表 2 不同施肥模式下 2 季蔬菜产量

施肥处理	白菜季		马铃薯季	
	总生物量(t/hm <sup>2</sup> )	经济产量(t/hm <sup>2</sup> )	总生物量(t/hm <sup>2</sup> )	经济产量(t/hm <sup>2</sup> )
A	262.59 ± 8.12b	180.84 ± 7.91ab	26.11 ± 1.57bc	11.84 ± 1.32a
B	248.04 ± 8.03a	172.85 ± 11.65a	21.42 ± 1.59a	12.73 ± 0.84ab
C	246.90 ± 8.13a	171.11 ± 12.53a	27.24 ± 1.56c	14.06 ± 1.12b
D	275.51 ± 4.43c	196.03 ± 3.37b	26.05 ± 1.56bc	14.10 ± 1.28b
E	254.07 ± 2.82ab	183.80 ± 1.92ab	26.83 ± 2.10bc	13.35 ± 1.35ab
F	253.83 ± 4.73ab	181.53 ± 9.97ab	26.16 ± 0.77bc	13.34 ± 0.31ab
G	256.01 ± 8.41ab	178.56 ± 9.13a	24.23 ± 0.70b	12.11 ± 0.74ab

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。表 3 同。

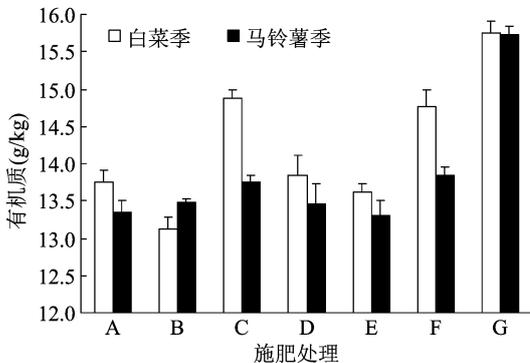


图 1 不同施肥模式下 2 季蔬菜收获指数

马铃薯季氮肥施用量相对较低,且受季节的影响,除了氮肥施用量最大的习惯施肥处理外,其他各处理 pH 值均高于或接近于原始 pH 值。2 季蔬菜土壤处理 B 的 pH 值均最高,处理 G 次之,每季氮肥施用量最高的处理(白菜季的纯施化肥处理和马铃薯季的习惯施肥处理) pH 值均最低,可见化肥尤其是氮肥对土壤有一定的酸化效果。

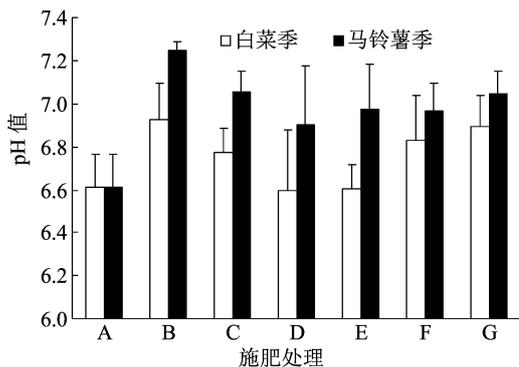


图 2 不同施肥模式下土壤 pH 值

土壤阳离子交换性能是指土壤溶液中的阳离子与土壤固相中的阳离子进行的交换作用,反映了土壤的缓冲性能,具有调节土壤溶液浓度,保证土壤溶液成分多样性,维持土壤溶液“生理平衡”,保持各种养分免受雨水淋失等作用,阳离子交换量可作为评价土壤保肥能力的指标<sup>[8]</sup>。由图 3 可知,整体而言,施肥处理仅进行了 2 季,各处理间阳离子交

换量差异不显著,但也呈现出一定的趋势,主要表现为处理 G 除白菜季略低于处理 F 外,其余均最高;2 季处理 B 的阳离子交换量略低于处理 G,高于磷钾施肥水平相当的处理 C 和处理 D;相同施肥水平下缓控处理 E 2 季均高于施用常规尿素的处理 C。由此可见,增施有机肥减施氮肥有助于提高土壤阳离子交换性能,增强土壤缓冲及保肥性能。

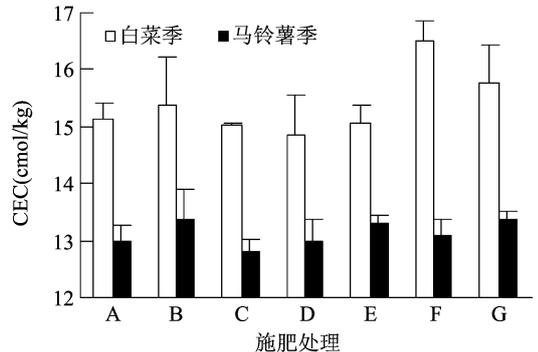


图 3 不同施肥模式下 2 季土壤阳离子交换量

### 2.3 不同施肥模式对土壤有机质和无机氮含量的影响

如图 4 所示,种植蔬菜后,土壤有机质含量整体呈下降趋势,白菜季后除处理 G 的有机质含量较试验前有提升外,其他各处理均有不同程度的下降;与白菜季相比,马铃薯收获后处理 G 的有机质含量基本维持不变,处理 B 的有机质含量略有提升,其他各处理有机质含量持续下降,处理 G 的有机质含量显著高于其他各处理。综合 2 季数据,处理 G 有机肥施用量最大,土壤有机质含量均最高;与处理 D 相比,施用有机肥而不施氮肥的处理 B 土壤有机质含量反而更低。

如表 3 所示,除处理 A 与处理 B 外,白菜季氮肥施用量均高于马铃薯季,故整体而言白菜季土壤无机氮含量普遍高于马铃薯季。白菜季土壤铵态氮含量整体较稳定,而硝态氮含量差异较大,不施缓控肥的 5 个处理硝态氮含量均随着氮肥施用量的

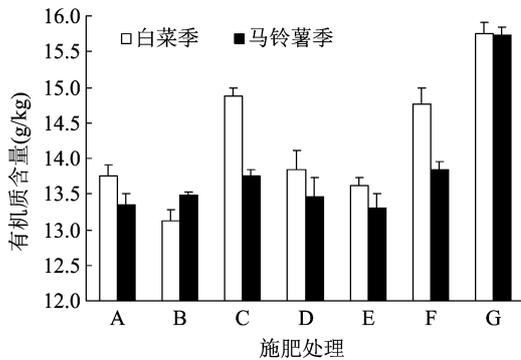


图4 不同施肥模式下土壤有机质含量

增加而增加,处理 D 的硝态氮含量最高,2 个缓控肥处理次之,均显著高于其他施肥处理,这表明土壤硝化速率相对较快,未被蔬菜吸收利用的氮转化为硝态氮并保留在土壤中;马铃薯季氮肥施用量相对较低,除施氮量最高的习惯施肥处理铵态氮含量显

著高于其他处理外,其他处理间差异不显著。

#### 2.4 2 季菜田经济产量与土壤性质之间的相关性

为进一步明确影响蔬菜产量的主导因子,为合理施肥提供理论依据,分别对 2 季蔬菜经济产量及土壤性质进行了相关性分析。如表 4、表 5 所示,对于叶菜类的白菜而言,经济产量与无机氮含量呈极显著正相关;而对于根茎类的马铃薯而言,经济产量与无机氮含量呈显著负相关,这表明氮肥对叶菜类蔬菜产量有显著的提升效果,而对于根茎类蔬菜而言,过量施氮导致地上部徒长而不利于地下茎的生长,从而降低经济产量。土壤 pH 值与无机氮含量尤其是硝态氮含量呈显著或极显著负相关关系,说明过量施用氮肥对土壤有显著的酸化效应。土壤阳离子交换量与 pH 值存在极显著正相关,说明提升土壤交换性能有助于抑制土壤酸化,而阳离子

表 3 不同施肥模式下土壤无机氮含量

施肥处理	白菜季无机氮含量 (mg/kg)			马铃薯季无机氮含量 (mg/kg)		
	总和	铵态氮	硝态氮	总和	铵态氮	硝态氮
A	54.28 ± 3.19a	16.15 ± 0.32ab	38.13 ± 3.50a	67.61 ± 5.95b	41.97 ± 3.01b	25.64 ± 3.00b
B	50.68 ± 1.72a	15.73 ± 0.21a	34.95 ± 1.90a	56.91 ± 2.15a	35.44 ± 0.71a	21.47 ± 2.21ab
C	56.03 ± 1.52a	15.84 ± 0.21ab	40.19 ± 1.31a	57.12 ± 1.98a	36.94 ± 1.11a	20.18 ± 1.31ab
D	107.35 ± 9.47c	16.57 ± 0.86ab	90.78 ± 9.01d	61.19 ± 4.75ab	35.29 ± 0.31a	25.90 ± 4.44b
E	95.88 ± 8.15c	17.46 ± 1.65b	78.42 ± 8.53c	61.02 ± 4.61ab	36.04 ± 0.69a	24.98 ± 4.38ab
F	75.19 ± 9.59b	16.99 ± 1.20ab	58.20 ± 9.39b	58.45 ± 2.37a	35.74 ± 0.83a	22.71 ± 1.97ab
G	55.78 ± 8.17a	15.84 ± 0.29ab	39.94 ± 7.98a	56.16 ± 1.06a	36.44 ± 1.48a	19.72 ± 1.38a

表 4 白菜季经济产量与土壤性质之间的相关性

指标	相关系数						
	总生物量	经济产量	pH 值	有机质含量	无机氮含量	铵态氮含量	硝态氮含量
经济产量	0.738 **						
pH 值	-0.359	-0.252					
有机质含量	-0.110	-0.020	0.549 *				
无机氮含量	0.518 *	0.566 **	-0.467 *	-0.270			
铵态氮含量	0.161	0.351	-0.252	-0.222	0.494 *		
硝态氮含量	0.521 *	0.562 **	-0.466 *	-0.266	0.999 **	0.462 *	
阳离子交换量	-0.259	-0.086	0.659 **	0.510 *	-0.204	-0.027	-0.207

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。表 5 同。

表 5 马铃薯季经济产量与土壤性质之间的相关性

指标	相关系数						
	总生物量	经济产量	pH 值	有机质含量	无机氮含量	铵态氮含量	硝态氮含量
经济产量	0.594 **						
pH 值	-0.236	0.422					
有机质含量	-0.185	-0.159	0.360				
无机氮含量	0.058	-0.435 *	-0.792 **	-0.446 *			
铵态氮含量	0.194	-0.403	-0.652 **	-0.290	0.689 **		
硝态氮含量	-0.041	-0.328	-0.648 **	-0.411	0.899 **	0.303	
阳离子交换量	-0.322	-0.073	0.577 **	0.667 **	-0.379	-0.339	-0.295

交换量与土壤有机质含量呈显著或极显著正相关,这从侧面也印证了有机肥的施用有助于提高土壤 pH 值,减缓酸化进程。

### 3 结论与讨论

叶菜类蔬菜和根茎类蔬菜对肥料的需求有着显著差异,以本试验结果而言,白菜经济产量与土壤无机氮含量呈极显著正相关,这表明施氮在一定程度上可促进白菜植株生长并提升产量,尤其是纯施化肥处理,产量显著高于不施氮肥处理;施用氮肥后,马铃薯生物量显著增加,但主要表现在地上部,经济产量增加较小,且当季氮肥施用量最大的习惯施肥处理下经济产量反而最低,经济产量与土壤无机氮含量呈显著负相关,这主要是由于氮肥具有协调茎叶与块茎生长的作用,过量施氮会导致植株徒长贪青,生长中心无法适时转移,进而降低经济产量<sup>[12-13]</sup>。总之,施氮可促进白菜增产但不利于马铃薯增产,这与其他学者的研究结果<sup>[9-11]</sup>相一致。也有学者提出,过量施氮并不利于白菜的生长,曾彩霞研究发现,当氮肥施用量超过 300 kg/hm<sup>2</sup> 时继续增施氮肥,白菜的经济产量反而有下降的趋势<sup>[14]</sup>。在本次白菜季试验中,2 个缓释氮肥处理产量较不施氮肥处理有较大的提升,且 2 个缓控施肥产量差异不大,优化施肥除氮肥外其他肥料用量与缓控氮肥处理一致,而其经济产量则有大幅降低,甚至略低于不施化肥氮处理,表明在控制磷钾肥不变的情况下,过量施用氮肥反而抑制白菜的生长,这与前人的研究结论<sup>[14]</sup>相一致。缓控施肥处理下 2 季蔬菜的经济产量均稍低于纯施化肥处理,马铃薯季略低于优化施肥处理,此外 2 季缓控施肥处理经济产量均高于其他处理,且缓控处理下肥料减施对经济产量的影响微乎其微,缓控施肥处理仅须施肥 1 次,无须追肥,从节省劳力、化肥减施的角度而言,施用缓控肥料是不错的选择。

2 季蔬菜收获后,2 季均表现为氮肥施用量最高的处理 pH 值最低,可见过量施用化肥氮对土壤有一定的酸化影响;种植蔬菜后,土壤有机质减少,增施有机肥在一定程度上缓解了有机质的损耗,但施有机肥的不施氮处理有机质含量反而低于纯施化肥处理,这是由于氮肥的施用一定程度上缓冲了作物对其他有效养分的耗竭性吸收利用程度,说明适量施用氮肥有利于土壤有机质的保留,这与杨瑞吉在油菜上所得的结论<sup>[15]</sup>相一致;有机替代 25% 氮

肥处理下土壤阳离子交换量较大,增施氮肥土壤阳离子交换量有所下降;相关性分析发现,土壤无机氮含量是影响蔬菜经济产量的重要因素,且与土壤 pH 值呈显著或极显著负相关;有机质含量与土壤交换性能呈显著或极显著正相关,土壤阳离子交换量与土壤 pH 值呈极显著正相关,这也进一步验证了合理施用氮肥并配施有机肥对提高蔬菜经济产量、改善土壤质量有重要意义,然而本试验尚无法准确给出氮肥的合理施用范围,仍须进一步试验加以研究。

### 参考文献:

- [1] 葛晓光,王晓雪,刘秀茹,等. 长期定位施用氮肥对蔬菜产量的影响(一)[J]. 中国蔬菜,1996(5):3-7.
- [2] 葛晓光,王晓雪,刘秀茹,等. 长期定位施用氮肥对蔬菜产量的影响(二)[J]. 中国蔬菜,1996(6):8-10.
- [3] 李娟,章明清,刘庆波. 不同施肥模式对菜稻轮作产量和菜田氮磷平衡的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(3):146-150.
- [4] 李俊良,陈新平,李晓林,等. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应[J]. 土壤学报,2003,40(2):261-266.
- [5] 黄立华,刘颖,周米平. 氮磷钾肥配施对大白菜产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(10):51-56.
- [6] 方畅宇,屠乃美,张清壮,等. 不同施肥模式对稻田土壤速效养分含量及水稻产量的影响[J]. 土壤,2018,50(3):462-468.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 土壤硝态氮的测定 紫外分光光度法:GB/T 32737—2016[S]. 北京:国家标准出版社,2016.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [9] 蒋勇,李振鑫,唐晓勇,等. 氮素对马铃薯生理性状及产量形成的影响[J]. 蔬菜,2018,(11):15-21.
- [10] 李文婷,王仕稳,邓西平,等. 不同水氮水平对马铃薯产量和水氮利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(6):191-196.
- [11] 黄素平,潘峰,杨顺平. 供氮水平对大白菜产量·品质的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(27):82-84.
- [12] Joern B C, Vitosh M L. Influence of applied nitrogen on potato. Part I: Yield, quality, and nitrogen uptake [J]. American Potato Journal, 1995, 72: 51-63.
- [13] Vos J, Biemond H. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 1. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching [J]. Annals of Botany, 1992, 70(1): 27-35.
- [14] 曾彩霞. 氮肥的不同用量对大白菜产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2016(4): 43-44.
- [15] 杨瑞吉. 密度与氮量对复种油菜土壤肥力性状的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 37(7): 44-49.