

优化施肥条件下大白菜生长·产量和品质研究

王鑫, 田晓雪, 张欣欣, 张凌霄, 吕福堂, 司东霞* (聊城大学农学院, 山东聊城 252059)

摘要 为明确不同白菜基因型的产量和品质差异,以“德高16”“德高秋丰王”和“义和秋”3个大白菜品种为供试植物,研究其优化施肥条件下生长、产量和品质。结果表明,3个大白菜品种的产量差异不显著,地上部、地下部干物质累积量和分配比例以及叶绿素含量差异达显著水平。“德高16”“德高秋丰王”干物质累积量较大,“义和秋”具有较大的地上部干物质分配比例和冠根比。大白菜干物质的累积量与叶绿素含量无显著相关性。大白菜各品质指标不同品种间差异显著(除硝酸盐含量外)。采用隶属函数法对大白菜的产量和品质进行综合评价,“德高16”品质综合隶属函数值最大,综合品质最好;“德高秋丰王”产量品质综合得分最高,有利于产量和品质的协同提高。因此,生产中应根据人们对产量和品质的不同需求,选择适宜的大白菜品种。

关键词 大白菜;产量;品质;隶属函数法;综合评价

中图分类号 S634.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)20-0038-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study of Growth, Yield and Quality of Chinese Cabbage under Optimized Fertilization

WANG Xin, TIAN Xiao-xue, ZHANG Xin-xin et al (College of Agricultural Science, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059)

Abstract In order to clarify the yield and quality differences of different cabbage genotypes, three Chinese cabbage varieties, ‘Degao 16’ (DG), ‘Degao Qiufengwang’ (QFW) and ‘Yiheqiu’ (YHQ), were used as test materials, and its growth, yield and quality characteristics response to optimized fertilization were studied. The results showed that the yield differences of the three Chinese cabbage varieties were not significant, however, the differences in dry matter accumulation and distribution ratio of the aboveground and underground, as well as the content of chlorophyll reached a significant level. The dry matter accumulation of ‘DG’ and ‘QFW’ were larger, and ‘YHQ’ had a large dry matter distribution ratio of aboveground and a shoot-root ratio. There was no significant correlation between dry matter and chlorophyll content in Chinese cabbage. The quality indexes of Chinese cabbage were significantly different among the three varieties (except nitrate content). The yield and quality of Chinese cabbage were comprehensively evaluated by membership function method. The comprehensive membership function value of ‘DG’ was the largest and its comprehensive quality was the best. The comprehensive score of yield and quality of ‘QFW’ was the highest, which was conducive to the coordinated improvement of yield and quality. Therefore, suitable varieties of Chinese cabbage should be selected according to people’s different needs for yield and quality in cabbage production.

Key words Chinese cabbage; Yield; Quality; Membership function method; Comprehensive evaluation

白菜(*Brassica campestris* L.)属于十字花科(Brassicaceae)芸薹属(*Brassica*)的叶用蔬菜,在中国和东南亚地区广泛种植。我国是白菜栽培面积和产量最大的国家,2019年我国白菜栽培总面积100.9万 hm^2 ,总产量3415.2万t,分别占世界白菜栽培总面积和总产量的41.3%和48.7%,居世界第一^[1]。白菜营养价值十分丰富,富含蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素和矿物质等多种营养成分,味道清鲜适口,深受消费者喜爱,素有“菜中之王”的美称。随着人们生活水平的提高和保健意识的增强,人们对白菜生产的关注点从高产向产量和品质并重的方向转变,由此,基于种子资源选育和优化栽培管理技术为主要手段的大白菜高产优质生产的相关研究成为农业科学工作者的研究热点^[2-4]。

白菜的产量、品质与品种的遗传特性有关^[5-6],也受到施肥等管理措施的影响^[7-9]。由于基因型的遗传调控,不同白菜品种表现出不同的生长特性和品质差异^[10-11]。肥料施用会影响白菜养分吸收和养分利用效率的同时,对白菜产量和品质的形成也具有重要作用^[12-15]。研究表明,白菜生长发育过程中适宜的养分投入可获得较高的产量和较好的经济效

益,同时可提高白菜的维生素C(V_c)和糖分含量,降低叶片中硝酸盐含量,在一定程度上改善白菜的品质性状^[16-19]。以往关于白菜高产优质生产的研究集中于不同品种或养分供应等单一因素,基于优化施肥条件下不同品种的产量、品质的差异研究鲜见报道。笔者选用“德高16”“德高秋丰王”和“义和秋”3个大白菜品种,在优化施肥条件下,研究其生长、产量和品质差异,为生产中合理选择大白菜品种、实现高产优质生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于2019年9—12月在聊城大学生态园(115.97°N,36.45°E)进行。试验地点位于山东省聊城市东昌府区,属于暖温带季风气候区,半干旱大陆性气候。全年光照时数在2463~2741h,年平均气温13.3℃,平均降水量为610mm,无霜期201d以上,光照充足,雨热同季,农业气候资源较为丰富。

1.2 试验材料 供试大白菜品种分别为“德高16”(德州市德高蔬菜种苗研究所)、“德高秋丰王”(德州市德高蔬菜种苗研究所)和“义和秋”(青岛和丰种业有限公司),均为山东省主推大白菜品种,购于山东中农汇德丰种业科技有限公司。供试土壤为壤质潮土,全氮含量为0.84g/kg,有机质含量为9.35g/kg,速效磷含量15mg/kg,速效钾含量115mg/kg,pH7.95。试验用肥料为尿素(46%)、磷酸二铵(18-46-0)和硫酸钾(52%)。

基金项目 山东省农业农村厅项目“耕地质量提升与减肥增效”(K21LD10);聊城大学大学生创新创业训练计划项目“不同品种大白菜生长及养分吸收规律研究”(CXC2020Y120)。

作者简介 王鑫(1999—),女,山东新泰人,硕士研究生,研究方向:园艺植物栽培。*通信作者,副教授,博士,从事植物营养与养分资源管理研究。

收稿日期 2021-11-19

1.3 试验设计 试验为单因素田间试验,随机区组设计。试验因素为大白菜品种,分别为“德高16”(DG)、“德高秋丰王”(QFW)、“义和秋”(YHQ),共3个处理,重复4次,小面积9 m²。在优化施肥条件下,大白菜生育期内共施肥2次,肥料用量参考区域白菜施肥的前期研究结果。基肥于9月8日耕翻前撒施,氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施肥用量分别为120、45、130 kg/hm²;10月22日大白菜团棵期开沟追施尿素,用量为150 kg N/hm²。9月8日耕翻整地后,起垄播种,每穴播种3粒,行距67 cm,株距45 cm,播种深度4 cm。播种后10 d疏苗,每穴保留1株健壮幼苗。大白菜生育期内灌溉、中耕除草和病虫害防治等常规操作。12月7日收获,取样测定各项指标,全田间生育期共91 d。

1.4 测定项目与方法 收获时,每处理随机选取代表性大白菜3株,整株取出,将地上部和地下部分开,地上部称重计产,之后,纵向切开分成4等份,取其中1份为小样,称小样鲜重;地上部小样和地下部均置于恒温干燥箱中,100℃杀青30 min,75℃烘干至恒重,测定地上部和地下部干物质累积量,计算根冠比。大白菜包心叶由外向内取第2~3层叶片的上1/3处混合样品,测定叶绿素含量和各品质指标。叶绿素含量采用95%乙醇提取比色法测定,V_c含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,硝酸盐(NO₃⁻)含量采用紫外分光光度法测定。

1.5 数据分析

1.5.1 数据统计分析。采用Excel 2016 进行数据处理,用SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用最小显著差异法(LSD)进行差异显著性检验。

1.5.2 大白菜产量品质评价标准。用模糊数学中隶属函数的方法进行统计分析,并以产量及品质各个指标的隶属函数值进行综合评价,隶属函数值越大,其品质或产量越高。根据各产量或品质指标的性质,选用不同方法计算其隶属函

数值^[20]。

$$\text{升型: } F(x) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

$$\text{降型: } F(x) = (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

式中, $F(x)$ 为隶属函数值, x_i 为某项指标测定值, x_{\max} 和 x_{\min} 为所有处理中某一指标测定值的最大值和最小值。

若所测指标与品质或产量呈正相关,则用式(1)计算隶属函数值;反之,则用式(2)计算。该试验大白菜地上部干物质、可溶性糖、可溶性蛋白和V_c含量均与品质呈正相关,用式(1)计算,硝酸盐含量与品质呈负相关,用式(2)计算。大白菜各单一品质指标的隶属函数值采用加权法加和计算品质综合隶属函数值,各项品质指标加权值均为20%。利用品质综合隶属函数值和产量隶属函数值累加结果,进行大白菜产量和品质协同提高的综合评价。

2 结果与分析

2.1 产量、干物质累积与分配 优化施肥条件下,不同品种大白菜的产量和干物质累积与分配状况见表1。由表1可知,3个品种的大白菜平均产量为91.8 t/hm²,产量在80.6~97.7 t/hm²,不同品种之间差异不显著。QFW地上部干物质累积量最高,为5.76 t/hm²,与DG差异不显著,显著高于YHQ;YHQ地上部干物质累积量最小,仅为QFW地上部干物质的76%。大白菜干物质累积量平均有97.3%(变幅96.8%~97.7%)分配在地上部。其中,YHQ的地上部干物质分配比例显著高于DG,与QFW无显著差异。地下部干物质累积量和分配比例DG和QFW差异不显著,均显著高于YHQ,YHQ地下部干物质占比与QFW差异不显著。YHQ具有较大的冠根比,与QFW差异不显著,但显著高于DG。表明3个大白菜品种产量差异不显著,地上部、地下部干物质累积数量和分配比例不同,DG和QFW具有较高的干物质累积量,DG地上部分配比例小;YHQ干物质累积量较小,地上部分配比例较大。

表1 不同品种大白菜产量、干物质累积与分配

Table 1 Yield, dry matter accumulation and distribution of different varieties of Chinese cabbage

品种 Varieties	产量 Yield t/hm ²	地上部 Aboveground		地下部 Underground		冠根比 Shoot-root ratio
		干物质 Dry matter t/hm ²	占比 Percentage %	干物质 Dry matter t/hm ²	占比 Percentage %	
DG	80.6±12.1 a	5.06±0.75 ab	96.8±0.6 b	0.17±0.02 a	3.2±0.6 a	30.8±6.0 b
QFW	97.7±23.3 a	5.76±0.82 a	97.3±0.3 ab	0.16±0.03 a	2.7±0.3 ab	36.3±4.2 ab
YHQ	97.2±10.4 a	4.38±0.61 b	97.7±0.1 a	0.10±0.02 b	2.3±0.1 b	43.1±1.4 a
平均 Average	91.8	5.06	97.3	0.14	2.7	36.7

注:同列不同小写字母代表不同品种间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column represented significant difference between varieties ($P<0.05$)

2.2 叶绿素含量 由表2可知,3个大白菜品种中,DG叶片的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量(a+b)最高,均显著高于QFW,分别为QFW的1.42、1.34和1.43倍,与YHQ差异不显著。分析叶绿素含量与地上部干物质(表1)的相关性,二者未达显著水平。表明不同大白菜品种叶绿素总量及其组成存在差异,大白菜干物质的累积与叶绿素含量无显著相关性。

2.3 大白菜品质 相同施肥制度下,3个大白菜品种的主要品质指标表现不同。由表3可知,大白菜干物质含量平均为5.61%,DG和QFW差异不显著,二者均显著高于YHQ。可溶性糖含量平均为0.35%,DG可溶性糖含量最高,为0.46%,显著高于QFW和YHQ,后二者差异不显著。可溶性蛋白含量平均为0.79 mg/g,YHQ最高为1.09 mg/g,DG最低为0.53 mg/g,3个品种间差异显著。V_c含量平均为14.47 mg/kg,DG显著高

于 YHQ, 与 QFW 差异未达显著水平。不同品种大白菜硝酸盐含量无显著差异。

表 2 不同品种大白菜收获期叶绿素含量

Table 2 Chlorophyll content of different varieties of Chinese cabbage at harvest

品种 Varieties	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素总量(a+b) Total chlorophyll (a+b)
DG	1.08±0.23 a	0.39±0.04 a	1.52±0.34 a
QFW	0.76±0.12 b	0.29±0.02 b	1.06±0.15 b
YHQ	0.98±0.19 ab	0.37±0.07 ab	1.35±0.26 ab

注: 同列不同字母表示不同品种间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column represented significant difference between varieties ($P<0.05$)

表 3 不同品种大白菜品质指标

Table 3 Quality indexes of different varieties of Chinese cabbage

品种 Varieties	地上部干物质 Aboveground dry matter // %	可溶性糖 Soluble sugar // %	可溶性蛋白 Soluble protein mg/g	V _c Vitamin C mg/kg	硝酸盐 Nitrate mg/kg
DG	6.31±0.67 a	0.46±0.01 a	0.53±0.03 c	15.42±0.90 a	370.97±2.14 a
QFW	6.02±0.91 a	0.33±0.03 b	0.74±0.02 b	15.19±1.64 ab	370.27±1.45 a
YHQ	4.51±0.47 b	0.27±0.02 b	1.09±0.11 a	12.80±1.91 b	366.97±1.63 a
平均 Average	5.61	0.35	0.79	14.47	369.40

注: 同列不同小写字母表示不同品种间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column represented significant difference between varieties ($P<0.05$)

表 4 不同品种大白菜产量和品质综合评价

Table 4 Comprehensive evaluation of yield and quality of different varieties of Chinese cabbage

品种 Varieties	各品质指标隶属函数值 Membership function value of each quality index					品质综合隶属函数值 Quality comprehensive membership function value	产量隶属函数值 Yield membership function value	产量品质综合得分 Comprehensive score for yield and quality	排序 Sequence
	干物质 Dry matter	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	V _c Vitamin C	硝酸盐 Nitrate				
DG	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.60	3
QFW	0.84	0.30	0.37	0.91	0.17	0.52	1.00	1.52	1
YHQ	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.40	0.97	1.37	2

3 讨论

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,人们对蔬菜产量及营养价值等方面的要求也越来越高,产量性状以及包括干物质、维生素、可溶性蛋白、可溶性糖等内在营养品质性状成为蔬菜品种选育和推广的重要依据^[21-22]。不同白菜品种的生长、产量和品质表现不同^[3]。徐彦军等^[21]研究了 7 个大白菜品种的产量性状,结果表明,大白菜单株毛重在 1.33~1.77 kg,净菜产量为 75.3~97.0 t/hm²,净菜产量平均值的变异系数为 10.3%;孙丽等^[11]研究表明,5 个品种大白菜的蛋白质、V_c 和可溶性糖含量差异显著,“新乡 903”的 V_c 含量最高,“天津青麻叶”的蛋白质含量和可溶性糖含量较高。该试验条件下,3 个大白菜品种的产量差异未达显著水平,但各营养品质指标差异显著,不同品种的各单一品质指标存在差异,“德高 16”干物质、可溶性糖和 V_c 含量较高,“义和秋”则具有较高的可溶性蛋白含量。硝酸盐含量是评价蔬菜品质的重要指标之一,含量过高,则会在微生物的作用下生成亚硝酸盐,对人体产生毒害^[23]。该试验 3 个大白菜品种的硝酸盐含量在 366.97~370.97 mg/kg,均低于联合国粮农组织

2.4 产量品质的综合评价 在氮、磷、钾肥优化施肥条件下,采用隶属函数法对大白菜产量和品质进行综合评价。由表 4 可知,3 个大白菜品种各品质指标的隶属函数值存在差异,DG 品种的干物质、可溶性糖和 V_c 含量及 YHQ 品种的可溶性蛋白和硝酸盐含量均具有较大隶属函数值。对大白菜品质进行综合评价,DG 的品质综合隶属函数值最大(0.60),综合品质最好,其次为 QFW, YHQ 品质综合隶属函数值最小(0.40),综合品质最差。大白菜的产量隶属函数值表现为 QFW>YHQ>DG。在考虑产量和品质协同提高的情况下, QFW 综合得分最高(1.52),其次为 YHQ, DG 最低。

1973 年颁布的蔬菜中硝酸盐含量 432 mg/kg 的限定标准量。

植物干物质的形成和分配与光合速率的大小及光合产物的运输有关,受植物种类、品种和矿质营养、温度、光照等多种内、外因子的影响^[24-25]。叶绿体色素是光合作用的主要色素,有研究以 SPAD 值衡量叶绿素相对含量,用于植物营养无损诊断与施肥推荐。朱丽丽等^[26]选用“锦抗 1 号”和“乡情 80” 2 个大白菜品种为试验材料,研究了不同氮肥水平下植株叶片 SPAD 值与氮素营养诊断指标、施氮量的关系,分别建立了 2 个品种莲座期和结球期叶片 SPAD 值的临界指标,2 个白菜品种的 SPAD 临界指标不同,表明在产量均达到最大值 120~130 t/hm² 时,2 个白菜品种的叶绿素含量存在差异,进一步证明不同品种正常生长对叶绿素含量需求的遗传学差异。该试验 3 个大白菜品种的地上部、地下部干物质累积量和分配比例以及叶绿素含量差异均达显著水平,“德高 16”“德高秋丰王”干物质累积量较大,“义和秋”具有较大的地上部干物质分配比例和冠根比,大白菜干物质的累积量与叶绿素含量无显著相关性。

植物的生长、产量和品质是多指标的综合反映。配合力

法^[3]、加权平均法^[9]和隶属函数法^[20,27-28]等方法广泛应用于植物产量、农艺、品质等性状综合评价。该研究采用隶属函数法计算大白菜的产量和各单一品质指标的隶属函数值,进行产量和品质的综合分析和评估。该试验条件下,3个大白菜品种的各单一品质指标的隶属函数值存在差异,“德高16”的干物质、可溶性糖和Ve含量隶属函数值较高,“义和秋”品种的可溶性蛋白和硝酸盐含量具有较大隶属函数值。对大白菜品质进行综合评价,“德高16”的综合隶属函数值最大,综合品质最好;“义和秋”综合隶属函数值最小,综合品质最差。在考虑产量和品质协同提高的情况下,“德高秋丰王”综合得分最高,其次为“义和秋”,“德高16”最低。由此可见,生产中适宜的大白菜品种选择应充分考虑人们对产量和品质的具体要求。

4 结论

白菜品种的遗传特性是决定其产量和品质的重要因素之一。该试验优化施肥条件下,3个大白菜品种间产量差异不显著,但地上部、地下部干物质累积量和分配比例以及各品质指标(硝酸盐含量除外)差异均达显著水平。采用隶属函数法对大白菜产量和品质进行综合评价,“德高16”综合品质最好,“德高秋丰王”有利于产量和品质的协同提高。因此,生产中应根据人们对产量和品质的不同需求,选择适宜的白菜品种,实现高产优质生产。

参考文献

- [1] FAO.FAOSTAT online database[DB/OL].(2020-12-22) [2021-06-03].<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [2] 张凤兰,于拴合,余阳俊,等.“十三五”我国大白菜遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2021(1):22-32.
- [3] 赖仕,韦树谷,黄玲,等.不结球白菜主要营养品质性状的配合力分析[J].北方园艺,2021(5):1-7.
- [4] 蔡淑芳,吴宝意,雷锦桂.基于光温效应的大白菜生理特性及营养品质动态模拟效果[J].中国农业气象,2021,42(1):34-43.
- [5] 韩睿,赵孟良,孙世英,等.47份大白菜品种的遗传多样性研究[J].西北农业学报,2021,30(5):707-716.
- [6] LI H Y, SI D X, LV F T. Differential responses of six Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) cultivars to potassium ion deficiency[J]. Journal of horticultural science & biotechnology, 2015, 90(5):483-488.

- [7] 王亚晨,蒋芳玲,唐静,等.氮肥减量施用条件下配施土壤调理剂对白菜生长、产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2019,47(17):132-137.
- [8] 张素平,李贞霞,王玲燕,等.不同氮磷钾含量复合肥对大白菜品质及产量的影响[J].浙江农业科学,2020,61(2):251-253.
- [9] 王靖莹,满孝印,李海云,等.充足磷钾供应下大白菜产量和品质对氮素形态的响应[J].聊城大学学报(自然科学版),2016,29(3):48-51.
- [10] 陈亚男,吕晓惠,丁谦,等.大白菜对氮素响应的基因型差异及相关特征分析[J].华北农学报,2020,35(1):131-140.
- [11] 孙丽,李贞霞,王广印,等.不同品种直筒型大白菜的营养品质分析[J].广东农业科学,2013,40(20):35-37.
- [12] LI H Y, SI D X. Effect of potassium on uptake and translocation of sodium and potassium in Chinese cabbage under NaCl stress[J]. Journal of plant nutrition, 2019, 42(3):250-260.
- [13] AHMED M, RAUF M, AKHTAR M, et al. Hazards of nitrogen fertilizers and ways to reduce nitrate accumulation in crop plants[J]. Environmental science and pollution research, 2020, 27(15):17661-17670.
- [14] GAO N, LIU Y, WU H Q, et al. Interactive effects of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, nitrogen uptake, and recovery of two successive Chinese cabbage crops as assessed using ¹⁵N isotope[J]. Scientia horticulturae, 2017, 215:117-125.
- [15] 杜公福,吕延超,韩旭,等.夏秋季黑叶小白菜优化配方施肥初探[J].中国瓜菜,2019,32(9):45-49.
- [16] 刘一凡,王红,张瑞芳,等.不同氮肥施用量对白菜产量及品质的影响[J].北方园艺,2021(10):35-40.
- [17] 段梅轻,董若征.不同施肥配方对白菜产量及品质的影响[J].现代农业科技,2016(7):70-74.
- [18] 李海云,司东霞.钾对不同品种大白菜生长、品质及钾积累的影响[J].中国农学通报,2014,30(10):223-226.
- [19] 杨景华,耿川雄,陈拾华,等.不同绿色增效技术对白菜生长生理和养分吸收的影响[J].安徽农业科学,2022,50(3):155-157.
- [20] 王燕,贾智麟,任冬雪,等.隶属函数法评价马铃薯高代品系材料的抗旱性[J].种子,2017,36(6):72-75.
- [21] 徐彦军,李启华,李娇,等.棚室大白菜品种栽培比较[J].种子,2020,39(2):137-139.
- [22] 侯喜林,张增翠,曹春梅,等.不结球白菜新组合主要营养品质比较试验[J].中国蔬菜,2001(2):26-27.
- [23] 任琴.分光光度法测定蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐的探究[J].农家参谋,2021(4):81-82.
- [24] 武维华.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003:167-168.
- [25] 陈连珠,张雪彬,白大娟,等.不同光照度下快白菜光合特性及叶绿素荧光日变化[J].中国瓜菜,2021,34(5):52-56.
- [26] 朱丽丽,李井会,宋述尧.基于SPAD值的大白菜氮素营养诊断和推荐施肥模型研究[J].北方园艺,2019(17):21-25.
- [27] 原让花,原连庄,肖艳,等.不同栽培季节苗用大白菜品种(组合)的品质分析及评价[J].广东农业科学,2013,40(7):46-48.
- [28] 高佳,田玉尚,罗芳耀,等.16个优良朝天椒组合干制品品质分析与评价[J].食品安全质量检测学报,2021,12(4):1386-1392.

(上接第30页)

- [7] WANG C B, ZHENG Y M, SHEN P, et al. Determining N supplied sources and N use efficiency for peanut under applications of four forms of N fertilizers labeled by isotope ¹⁵N[J]. Journal of integrative agriculture, 2016, 15(2):432-439.
- [8] 万书波,李新国.花生全程可控施肥理论与技术[J].中国油料作物学报,2022,44(1):211-214.
- [9] 邢会花,禹山林,蒋学杰.花生化肥减量增效对比试验[J].特种经济动植物,2019,22(12):21-22.
- [10] 张彩军,霍俊豪,袁洁,等.分层减量施肥对花生植株干物质积累及产量的影响[J].花生学报,2020,49(3):58-63.
- [11] 李飞,李斯佳,姬小玲,等.播种密度对漯河4087农艺性状及产量的影响[J].作物研究,2019,33(3):191-193.
- [12] 张俊,臧秀旺,郝西,等.不同密植方式对夏直播花生叶片功能及产量的影响[J].中国油料作物学报,2021,43(4):656-663.
- [13] 陈康.密度和氮肥互作对单粒精播花生SPAD值、植株和产量性状的影响[J].中国油料作物学报,2021,43(6):1070-1076.
- [14] 张俊,刘娟,臧秀旺,等.不同种植方式密植对花生开花结实的影响[J].中国农业科技导报,2019,21(1):125-131.
- [15] 王道中,郭熙盛.氮肥深施对水稻生长和产量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(31):15630-15631.

- [16] 史红娜,刘娜.花生化肥田间利用率试验[J].河南农业,2020(31):22.
- [17] 张佳蕾,郭峰,孟静静,等.酸性土施用钙肥对花生产量和品质及相关代谢酶活性的影响[J].植物生态学报,2015,39(11):1101-1109.
- [18] 崔瑞,李玉荣,李楠.不同施肥量对坡耕地花生生长及产量的影响[J].辽宁农业科学,2007(6):10-12.
- [19] 黄志鹏,吴海宁,唐秀梅,等.化肥减施对花生根际土壤细菌群落结构和多样性的影响[J].花生学报,2020,49(3):8-13,31.
- [20] 张冠初,戴良香,徐扬,等.减氮配施钙肥对花生光合特性、产量及肥料贡献率的影响[J].中国油料作物学报,2020,42(6):1010-1018.
- [21] 杨吉顺,李尚霞,张智猛,等.施氮对不同花生品种光合特性及干物质积累的影响[J].核农学报,2014,28(1):154-160.
- [22] 李洁,陈翠霞,聂红民,等.减量施肥及起垄对花生产量的影响[J].安徽农业科学,2021,49(11):26-27.
- [23] 史桂芳,董浩,朱国梁,等.绿肥还田条件下化肥减施对土壤性状及花生产量的影响[J].山东农业科学,2020,52(11):65-68,79.
- [24] 卢霖.乙矮合剂对不同密度夏玉米抗倒防衰的调控效应[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [25] 高飞,翟志席,王铭伦.密度对夏直播花生光合特性及产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(9):320-323.
- [26] 李爽,侯睿,张小军,等.种植密度对“蜀彩花1号”多彩花生发育性状及产量的影响[J].中国农业大学学报,2018,23(12):31-38.