

高源,程茜,袁宇婷,等. 氮磷钾施肥对温室菜用大豆生长与糖类含量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(3):133-139.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.03.020

# 氮磷钾施肥对温室菜用大豆生长与糖类含量的影响

高源<sup>1</sup>,程茜<sup>3</sup>,袁宇婷<sup>4</sup>,郭鲁平<sup>4</sup>,黄璐<sup>2</sup>,张晓燕<sup>2</sup>,袁星星<sup>2</sup>,陈新<sup>2</sup>,朱月林<sup>1</sup>,薛晨晨<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院,江苏南京 210014;

3. 南京财经大学食品科学与工程学院,江苏南京 210046; 4. 江苏大学,江苏镇江 212013)

**摘要:**为明确不同水平氮磷钾肥对温室菜用大豆生长状况与糖类含量的影响,以菜用大豆苏新 6 号为材料,采用三因素三水平进行正交试验。氮肥水平为  $N_0$  (0 kg/hm<sup>2</sup>)、 $N_1$  (75 kg/hm<sup>2</sup>)、 $N_2$  (150 kg/hm<sup>2</sup>),磷肥为  $P_0$  (0 kg/hm<sup>2</sup>)、 $P_1$  (120 kg/hm<sup>2</sup>)、 $P_2$  (240 kg/hm<sup>2</sup>),钾肥为  $K_0$  (0 kg/hm<sup>2</sup>)、 $K_1$  (120 kg/hm<sup>2</sup>)、 $K_2$  (240 kg/hm<sup>2</sup>)。结果表明,施肥处理对荚长宽、百粒鲜质量影响甚微 ( $CV < 10\%$ ),对单荚质量、单株结荚数、始花叶片数、花期时长、籽粒含水量影响较大 ( $CV > 10\%$ )。氮肥是影响菜用大豆开花期 SPAD 值的主效因子,磷肥则是影响鼓粒盛期 SPAD 值的主效因子。对于菜用大豆籽粒中果糖、葡萄糖、蔗糖含量,N、P、K、N×P、N×K、P×K、N×P×K 各因素的影响达到了极显著水平。蔗糖含量在施氮肥、磷肥后显著提高,随氮肥的增加先增后降,随磷肥的增加则表现为上升趋势。27 个处理组中, $N_2P_2K_0$  具有最高的蔗糖含量,达到 37.47 mg/g。建立了以蔗糖为目标,肥料为变量的数学模型,经模型预测最适肥量 N 肥为 137.25 kg/hm<sup>2</sup>,P 肥为 240 kg/hm<sup>2</sup>。本研究可为菜用大豆氮磷钾肥的合理施用提供理论指导。

**关键词:**菜用大豆;施肥量;糖含量;方差分析;农艺性状

**中图分类号:**S643.706 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)03-0133-06

菜用大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 别称枝豆、毛豆,鲜籽粒体积占鲜豆荚的 80%~90%,每荚有鼓粒饱满的籽粒 1~4 粒,种皮光滑、种脐明显、椭圆形,是采青豆荚、取青绿色籽粒食用的豆类蔬菜<sup>[1]</sup>。菜用大豆生产区主要集中在江苏、浙江、四川、福建等省份,全国每年生产面积在 53.3 万 hm<sup>2</sup> 以上<sup>[2]</sup>。

菜用大豆的甜度是重要的食味品质,甜度高的菜用大豆由于口感好而受到广大消费者的喜爱,市场中也偏爱甜度高的菜用大豆<sup>[3]</sup>。普遍认为菜用大豆籽粒的甜度主要受可溶性糖含量影响,尤其受到蔗糖含量的影响最大,占可溶性糖的 70% 左右<sup>[4-9]</sup>,因此蔗糖是决定菜用大豆甜度的关键因子。

影响菜用大豆糖类含量的主要因素由品种和

外界条件决定。不同施肥水平、施肥类型对菜用大豆生长的影响不同,氮肥、磷肥、钾肥均对菜用大豆籽粒糖类含量的形成有重要影响<sup>[10-13]</sup>。本研究拟分析不同肥料及其浓度水平对菜用大豆籽粒糖类物质的影响,以期为提高菜用大豆籽粒糖类含量施肥浓度提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与材料

试验于 2021 年在江苏省农业科学院科研展示温室进行,采用盆栽种植,花盆规格为 210 mm × 145 mm × 180 mm,每盆装入蛭石约 5 L,供试肥料包括尿素、过磷酸钙、硫酸钾,试验采用三因素三水平正交试验(表 1),共 27 种组合处理。尿素,总氮含量 ≥ 46.4%;过磷酸钙,有效磷( $P_2O_5$ )含量 ≥ 12%,水溶性磷含量 ≥ 7%;硫酸钾,钾( $K_2O$ )含量 ≥ 52%。于种植前添加氮肥 7.5 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥 12 kg/hm<sup>2</sup>、钾肥 12 kg/hm<sup>2</sup> 作为基肥统一施入。

供试材料的菜用大豆品种为苏新 6 号,采用直播方式于 4 月 7 日播种,真叶展开后控制密度为每盆 2 株,每个处理 40 株。肥料分别在播种前、开花前以目标施肥浓度的一半分 2 次施入,使用时配制成溶液(1:300)施用,不同处理间的管理措施一致,

收稿日期:2022-03-01

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(20)2015];现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS-08-G15);江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目[编号:JBGS(2021)059];江苏省林业科技创新与推广项目(编号:LYKJ[2021]22)。

作者简介:高源(1998—),女,浙江舟山人,硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理与生物技术研究。E-mail:234925716@qq.com。

通信作者:朱月林,博士,教授,主要从事蔬菜栽培生理与生物技术研究,E-mail:ylzhu@njau.edu.cn;薛晨晨,博士,副研究员,主要从事大豆功能育种与栽培研究,E-mail:xuecc@jaas.ac.cn。

表 1 试验施肥水平

施肥类型	编码值 -1		编码值 0		编码值 1	
	编号	施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )	编号	施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )	编号	施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub> :N(尿素)	N <sub>0</sub>	0	N <sub>1</sub>	75	N <sub>2</sub>	150
X <sub>2</sub> :P(过磷酸钙)	P <sub>0</sub>	0	P <sub>1</sub>	120	P <sub>2</sub>	240
X <sub>3</sub> :K(硫酸钾)	K <sub>0</sub>	0	K <sub>1</sub>	120	K <sub>2</sub>	240

开花时进行挂牌,其他管理均同步进行。

## 1.2 测定项目及方法

### 1.2.1 生长指标测定

始花总叶数:始花期植株具有的叶片数量。始花期:小区开花的株数达到 50% 的日期,以月-日表示。花期:第一朵花至终花时间。初荚期:小区 50% 植株形成绿色幼荚,豆荚扁平,且荚长约 1 cm 的日期,以月-日表示。荚长、宽:采摘鲜荚时,从每个试验小区随机取样 10 个荚,测量植株中上部荚的长度、宽度,取其平均值,单位为 cm,精确到 0.1 cm。单株荚数:单株实际结粒的荚数,单位为个。鲜百粒质量:菜用大豆鲜荚采摘剥出后 100 个完整籽粒的质量,单位为 g。单荚质量:菜用大豆单个鲜荚质量,单位为 g。籽粒含水率:鲜籽粒冻干 72 h 至恒质量,记录鲜质量与干质量,籽粒含水率 = (鲜质量 - 干质量)/鲜质量 × 100%。叶绿素 SPAD 值:使用便携式叶绿素仪 SPAD-502 Plus 测量叶片 SPAD 值,测定时避开叶脉与受损叶片,分别于开花期、鼓粒盛期测定,每次随机取 10 株的叶片进行测量。

### 1.2.2 糖含量测定

提取方法以 GB/T 30390—2013《油料种籽中果糖、葡萄糖、蔗糖含量的测定 高效液相色谱法》为基础<sup>[14]</sup>,菜用大豆籽粒经切碎后冻干 72 h,磨碎后称取 0.3 g 菜用大豆粉末(精确至 0.1 mg)于 10 mL 离心管中,加入 1.5 mL 石油醚去脂,漩涡振荡 1 min,3 000 r/min 离心 5 min,弃去上层石油醚,60 °C 水浴蒸发残留石油醚,加入 4.5 mL 水搅匀,加入乙酸锌溶液(1 mol/L)、亚铁氰化钾溶液(1 mol/L)各 0.25 mL,室温搅拌 30 min,经定性滤纸过滤,0.22 μm 滤膜过滤,待测。

色谱条件:色谱柱为 ZORBAX Carbohydrate, 4.6 mm × 250 mm;流动相为乙腈:水 = 75:25(体积分数);柱温为 30 °C;检测器温度为 35 °C;流速为 1 mL/min;进样体积为 10 μL;检测器为 Agilent 1260 示差折光检测器(RID)。

## 1.3 数据分析

利用 Excel 2016 录入和整理数据,采用 SPSS

22.0 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥水平下苏新 6 号农艺特性分析

同一品种菜用大豆经 27 个施肥处理后部分相关农艺性状具有差异,在此施肥配方条件下,施肥对荚长宽、百粒鲜质量影响甚微[变异系数(CV) < 10%],对单荚质量、单株结荚数、始花叶片数、花期长短、籽粒含水量影响较大(CV > 10%)(表 2)。菜用大豆荚以二粒荚、三粒荚为主,荚长、荚宽一般说明了荚的大小,二粒荚荚长最长的处理组为 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>,长达 6.0 cm,三粒荚荚长最长的处理组为 N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 和 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>,长达 6.9 cm;各组间荚宽差异不明显,变化范围在 1.32 ~ 1.46 cm 之间,平均为 1.4 cm,达到优质鲜食大豆荚标准。单荚质量变化范围在 1.39 ~ 2.73 g 之间,单荚质量最小的为 N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 处理组,最大的为 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理组。

27 个施肥处理中,百粒鲜质量变化幅度范围在 48.9 ~ 70.1 g 之间。百粒鲜质量最大的是 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理组,即 27 组中施肥水平最高的处理组,为 70.1 g,比平均百粒鲜质量高 20.66%,比含量最低的处理高 43.35%。N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 处理的单株结荚数最多,其次是 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 处理,结荚数越多越利于产量的提高。试验过程中,受到总供肥量的限制,试验材料生殖生长时期叶片数几乎不增加。始花叶片数与植株的生长高度和分枝数有一定关联,植株越高则始花叶片数越多,N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> 水平下始花叶片数高于 N<sub>0</sub> 水平,说明氮肥能够促进植株生长。作物生育期的长短主要由作物的遗传性决定,同一品种的花期和初荚期会受到磷素影响提前开花结荚,试验结果表明增施适量磷、钾肥有利于花期延长。

### 2.2 不同施肥水平下苏新 6 号叶片 SPAD 值分析

叶绿素 SPAD 值能体现叶色深度。在不同施肥水平条件、不同时期苏新 6 号叶片 SPAD 值存在明显差异。开花期之前菜用大豆植株处于营养生长

表 2 不同施肥水平下苏新 6 号农艺特性

处理	荚长 (cm)		荚宽 (cm)	单荚质量 (g)	百粒鲜质量 (g)	单株结荚数 (个)	始花叶片数 (张)	生育期		花期时长 (d)	籽粒含水率 (%)
	二粒荚	三粒荚						始花期 (月-日)	初荚期 (月-日)		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	5.6	6.5	1.36	2.10	48.9	2.10	2.05	05-15	05-21	12	73.40
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	5.5	6.5	1.36	2.23	50.0	1.98	2.03	05-14	05-21	15	75.14
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	5.2	6.3	1.34	2.07	52.1	1.95	2.15	05-14	05-22	14	75.12
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	5.4	6.0	1.35	2.22	52.5	2.25	2.18	05-14	05-21	15	77.01
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	5.3	6.9	1.38	2.25	56.2	2.20	2.15	05-14	05-23	16	73.43
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	4.9	6.4	1.32	1.39	59.4	2.03	2.00	05-14	05-21	17	73.45
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	5.3	6.3	1.36	2.27	59.5	2.30	2.23	05-14	05-22	17	74.28
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	5.4	6.5	1.34	2.41	58.2	2.55	2.10	05-14	05-23	17	74.10
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	5.3	6.3	1.32	2.12	53.3	2.28	2.23	05-14	05-21	18	76.44
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	5.5	6.5	1.35	2.35	55.8	2.40	2.23	05-12	05-20	17	73.43
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	5.4	6.5	1.36	2.14	53.6	2.78	2.48	05-14	05-21	18	73.19
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	5.4	6.8	1.37	2.38	57.6	2.54	2.46	05-13	05-22	20	72.80
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	5.4	6.7	1.42	2.58	58.6	2.90	2.20	05-11	05-20	21	72.31
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	5.3	6.7	1.42	2.58	63.9	2.98	2.08	05-11	05-20	23	73.57
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	6.0	6.5	1.42	2.56	55.6	3.08	2.20	05-13	05-21	21	72.07
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	5.5	6.9	1.39	2.51	65.0	3.05	2.51	05-13	05-22	16	71.07
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	5.3	6.5	1.39	2.35	56.5	2.73	2.35	05-13	05-21	18	72.80
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	5.5	6.7	1.37	2.46	68.7	2.53	2.45	05-14	05-21	17	74.18
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	5.4	5.8	1.36	2.15	54.1	2.03	2.48	05-13	05-21	18	75.28
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	5.3	6.0	1.34	2.22	56.0	1.92	2.72	05-14	05-21	14	75.53
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	5.3	6.2	1.33	2.13	54.6	2.25	2.70	05-13	05-23	16	76.22
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	5.3	5.9	1.33	2.48	63.5	2.43	2.90	05-13	05-21	16	73.99
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	5.2	6.2	1.35	2.50	60.3	2.33	2.85	05-14	05-21	15	75.77
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	5.7	6.5	1.42	2.61	53.4	2.28	2.75	05-14	05-20	15	74.42
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	5.7	6.4	1.45	2.63	68.9	2.88	2.65	05-13	05-21	15	73.57
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	5.4	6.5	1.39	2.64	63.0	3.00	2.78	05-12	05-21	18	72.80
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	5.6	6.8	1.46	2.73	70.1	2.72	2.51	05-13	05-21	18	73.27
平均值	5.4	6.4	1.4	2.3	58.1	2.5	2.4			16.9	72.2
标准差	0.2	0.3	0.0	0.3	5.7	0.4	0.3			2.4	10.0
CV (%)	3.7	4.5	2.8	11.6	9.8	14.9	11.6			14.2	13.8

期,此时氮肥水平对叶片 SPAD 值的影响效果较其他处理更明显。开花期 N<sub>2</sub> 水平下的叶片 SPAD 值明显高于 N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub> 水平,叶片 SPAD 值基本表现为 N<sub>2</sub> > N<sub>1</sub> > N<sub>0</sub> (图 1),N<sub>2</sub> 水平下植株也表现出叶色更深的性状。K 含量则对 SPAD 值没有明显影响,P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 水平下的 SPAD 值则明显高于 P<sub>0</sub>。N × P、N × K、N × P × K 之间均存在交互效应。

鼓粒盛期时,增加氮肥水平对 SPAD 值的影响小于开花期,同样表现为 N<sub>2</sub> > N<sub>1</sub> > N<sub>0</sub>。与此同时,P<sub>2</sub> 水平下叶片 SPAD 值表现出更高的数值,趋势为 P<sub>2</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>0</sub>,N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 处理组数值最高,较数值最低

的处理组高 44.4%。试验结果表明氮肥对菜用大豆营养生长时期的 SPAD 值具有关键作用,磷肥则对生殖生长时期有促进作用。K<sub>2</sub> 水平下叶片的 SPAD 值则明显高于 K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>,说明钾肥施用在此阶段对叶绿素含量积累也有促进作用。在鼓粒盛期各因素 0 水平处理的组合植株叶片明显出现老叶发黄、脱落的状况。

### 2.3 不同施肥水平下苏新 6 号糖类含量分析

对不同水平氮磷钾肥菜用大豆糖类含量平均值作图。由图 2 可知,蔗糖是菜用大豆籽粒中含量最高的可溶性糖,在 N<sub>1</sub> 水平下达到最高,在施氮量增

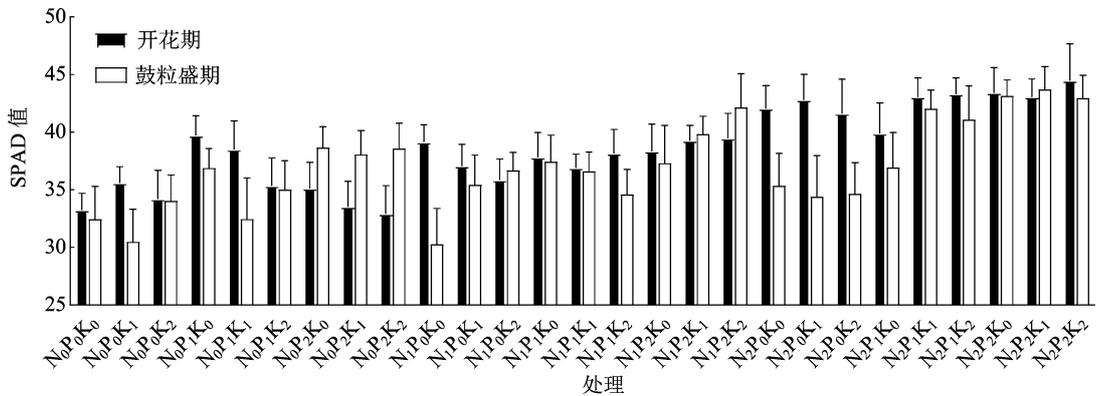
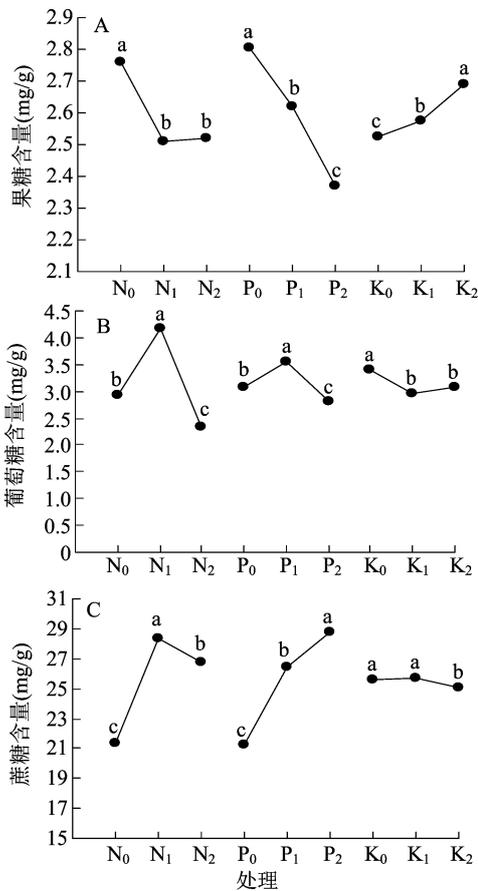


图1 施用不同水平氮磷钾的菜用大豆叶片 SPAD 值



不同小写字母表示不同水平间具有显著差异( $P < 0.05$ )

图2 施用不同水平氮磷钾的菜用大豆果糖(A)、葡萄糖(B)、蔗糖(C)含量

加的  $N_2$  水平下蔗糖含量降低,整体表现为  $N_1 > N_2 > N_0$  的趋势,与不施氮相比,施氮明显增加了蔗糖含量。而蔗糖含量随磷肥的增加而增加,变化趋势为  $P_2 > P_1 > P_0$ 。然而施加  $K_1$  水平的钾肥对蔗糖含量的影响较  $K_0$  不显著,且  $K_2$  水平的蔗糖含量显著低于  $K_0$ 、 $K_1$ ,可能是由于过量的钾肥抑制了籽粒中蔗糖含量的积累。

氮肥的浓度差异对菜用大豆籽粒中果糖的积

累具有一定影响,但是施加  $N_2$  浓度的肥与  $N_1$  水平无显著差异,且较低浓度的氮肥水平仍能够表现出较高的果糖含量。不同浓度的磷肥与钾肥也会对籽粒果糖含量产生显著影响,钾肥呈现浓度越高果糖含量越高的趋势,磷肥则相反。氮肥、磷肥的浓度增加对菜用大豆籽粒葡萄糖含量的影响也表现为先增加后降低的趋势,且  $N_1$  水平下葡萄糖含量显著高于  $N_0$ 、 $N_2$  水平。钾肥施加后并没有表现出比不施加的情况积累更高的葡萄糖含量。

对于3种糖类含量来说,方差分析结果(表3)表明氮肥磷肥钾肥主体间效应  $P < 0.01$ ,说明各因素互作影响达到了极显著水平,存在互作效应,单施一种肥料不利于菜用大豆籽粒糖类含量的积累。

#### 2.4 蔗糖回归模型的建立与分析

从不同水平氮磷钾肥菜用大豆蔗糖含量平均值(图2)可以得出,菜用大豆蔗糖含量随氮肥水平呈先增加后降低的趋势,与磷肥水平呈直线上升的趋势,钾肥虽表现为先增后降的趋势但变化幅度较小。由图中数据计算可得3因素的蔗糖含量极差值分别为6.92、7.46、0.58 mg/g,极差值越大说明该因素对籽粒蔗糖含量影响越大,磷肥因素影响略高于氮肥,氮肥与磷肥因素的影响远高于钾肥,该试验浓度下钾肥可能对蔗糖含量影响甚微,需要进一步分析。

以表1中的氮磷钾编码值为自变量,表3中蔗糖含量为因变量,考虑到各因素之间的交互作用,进行二次多项式回归分析<sup>[15-17]</sup>。本试验共有3个自变量,因此选用的模型为  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3$ 。对二次项的每个编码进行中心化处理,得到三元二次回归组合设计编码。

对该回归方程进行  $F$  检验可知,  $F = 52.26$ ,  $P <$

表 3 不同施肥水平下苏新 6 号糖类含量方差分析

处理	果糖含量 (mg/g)	葡萄糖含量 (mg/g)	蔗糖含量 (mg/g)
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2.65 ± 0.02	2.31 ± 0.06	21.32 ± 0.26
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	3.55 ± 0.08	5.81 ± 0.05	22.06 ± 0.21
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	3.08 ± 0.01	3.59 ± 0.02	21.78 ± 0.26
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	2.83 ± 0.02	3.01 ± 0.10	21.81 ± 0.24
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2.35 ± 0.01	1.91 ± 0.00	21.17 ± 0.27
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	2.79 ± 0.02	2.89 ± 0.03	23.38 ± 0.38
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.40 ± 0.06	2.14 ± 0.07	21.57 ± 0.21
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2.66 ± 0.01	2.40 ± 0.02	20.53 ± 0.22
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.55 ± 0.03	2.33 ± 0.02	20.88 ± 0.14
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2.64 ± 0.05	2.99 ± 0.30	20.62 ± 0.24
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	2.52 ± 0.02	1.83 ± 0.08	22.37 ± 0.23
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2.74 ± 0.16	3.36 ± 0.17	21.70 ± 3.16
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	2.81 ± 0.05	6.79 ± 0.60	35.23 ± 0.64
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2.90 ± 0.05	6.27 ± 0.35	32.65 ± 0.31
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	2.48 ± 0.02	5.52 ± 0.22	31.44 ± 0.30
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.15 ± 0.01	4.28 ± 0.21	28.72 ± 0.24
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1.54 ± 0.02	2.56 ± 0.43	32.30 ± 0.34
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.81 ± 0.03	4.00 ± 0.05	27.68 ± 0.69
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2.65 ± 0.02	3.49 ± 0.29	21.60 ± 0.35
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	2.70 ± 0.04	1.95 ± 0.66	20.12 ± 0.22
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2.70 ± 0.02	2.39 ± 0.37	19.85 ± 0.44
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	2.27 ± 0.01	2.26 ± 0.12	23.39 ± 0.19
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2.49 ± 0.07	1.64 ± 0.46	23.25 ± 0.59
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	2.67 ± 0.08	1.73 ± 0.25	25.05 ± 1.35
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.32 ± 0.07	3.43 ± 0.61	37.47 ± 0.99
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2.46 ± 0.04	2.35 ± 0.54	36.42 ± 0.50
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.41 ± 0.02	1.87 ± 0.26	32.96 ± 0.34
F <sub>N</sub>	206.06 **	247.11 **	533.00 **
F <sub>P</sub>	485.24 **	39.55 **	668.96 **
F <sub>K</sub>	74.53 **	14.87 **	8.30 **
F <sub>N×P</sub>	91.60 **	174.60 **	417.95 **
F <sub>N×K</sub>	55.79 **	35.33 **	10.57 **
F <sub>P×K</sub>	64.35 **	9.72 **	13.29 **
F <sub>N×P×K</sub>	150.08 **	26.95 **	11.02 **

注：“\*\*”表示在 0.01 水平上差异显著。

0.01, 说明回归关系达到极显著水平, 这也说明该方程可以反映氮磷钾肥施用量与菜用大豆籽粒蔗糖含量的关系, 因此该回归方程对蔗糖含量有较好的预测效果。对各偏回归系数的检验结果进行分析, 发现  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_1^2$ 、 $X_1X_2$  达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),  $X_2^2$  达到显著水平 ( $P < 0.05$ ),  $X_3$ 、 $X_3^2$ 、 $X_1X_3$ 、 $X_2X_3$  不显著 (表 4), 说明钾与氮磷之间不存在交互效应。得

表 4 蔗糖含量与氮磷钾肥施用量编码值回归方程的偏回归系数检验结果

参数	偏回归系数	标准误	t 值	P 值
截距	19.582	0.718	27.282	0.000 0
$X_1$	2.533	0.375	6.758	0.000 0
$X_2$	3.728	0.375	9.945	0.000 0
$X_3$	-0.389	0.375	-1.038	0.302 6
$X_1^2$	-3.934	0.649	-6.060	0.000 0
$X_2^2$	-1.378	0.649	-2.123	0.037 2
$X_3^2$	-0.293	0.649	-0.452	0.652 8
$X_1X_2$	3.956	0.459	8.616	0.000 0
$X_1X_3$	-0.495	0.459	-1.078	0.284 8
$X_2X_3$	-0.502	0.459	-1.093	0.278 2

注: $X_1$  为 N 施用量编码值; $X_2$  为 P 施用量编码值; $X_3$  为 K 施用量编码值。

出蔗糖含量 ( $Y$ ) 与肥料编码值 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ ) 之间的回归方程:  $Y = 19.193 + 2.533X_1 + 3.728X_2 - 3.934X_1^2 - 1.378X_2^2 + 3.956X_1X_2$ 。方程的拟合度为 78.8%, 说明能够拟合试验数据 78.8% 的信息。

该试验水平条件下, 回归模型存在氮肥和磷肥的交互项, 且回归系数达极显著水平, 说明蔗糖含量的变化不是因子单独效应的简单叠加, 氮肥、磷肥的交互效应对蔗糖的含量有影响。从氮磷施用量编码值的偏回归系数绝对值来看, 氮肥、磷肥施用量编码值的偏回归系数绝对值分别为 2.533、3.728, 说明该试验中对籽粒蔗糖含量的影响表现为磷肥 > 氮肥。

对该方程作图 (图 3) 可以得出, 蔗糖含量  $Y > 20$  时,  $X_1$  范围在  $-0.18 \sim 1.00$  之间,  $X_2$  范围在  $0.31 \sim 1.00$  之间。在该试验范围内,  $X_1 = 0.83$ ,  $X_2 = 1.00$  时,  $Y$  获得最大值, 为 24.22 mg/g, 即在 N 用量为 137.25 kg/hm<sup>2</sup>、P 用量为 240 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 菜用大豆籽粒的蔗糖含量最高。

为求得该方程  $Y$  的最大值, 对方程进行一阶偏导数求导, 令  $\frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0$ ,  $\frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0$ , 得到

$$\begin{cases} 2.533 + 3.956X_2 - 7.868X_1 = 0 \\ 3.728 - 2.756X_2 + 3.956X_1 = 0 \end{cases}$$

当  $Y$  值最高时,  $X_1 = 3.600 9$ ,  $X_2 = 6.521 5$ , 超出了本试验范围。

### 3 讨论与结论

本试验结果表明, 不同施肥水平对菜用大豆生长与糖类含量均具有一定影响。同一品种菜用大豆 (苏新 6 号) 经不同水平氮磷钾施肥处理后, 莢

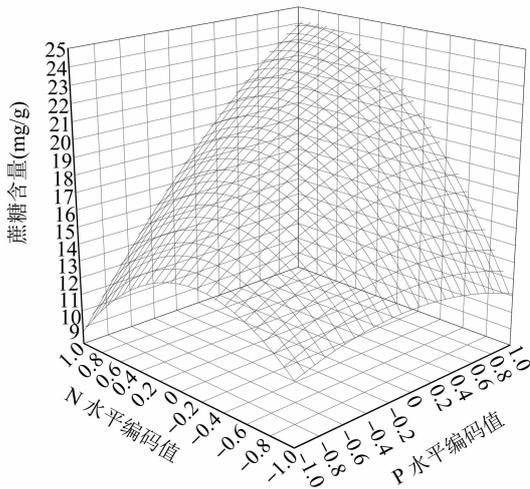


图3 氮磷交互效应分析结果

长、荚宽、百粒鲜质量差异不大 ( $CV < 10\%$ ), 单荚质量、始花叶片数、单株结荚数差异较明显 ( $CV > 10\%$ ) 但差异有限。N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 组合下农艺性状荚长、荚宽、荚质量、百粒鲜质量和单株结荚数表现更佳, 花期更短, 单从百粒鲜质量来看 N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub> 表现更佳。同一品种的开花期因磷肥影响提前开花结荚, 适量磷、钾肥能够延长花期, 避免落花落果。

SPAD 值在开花期和鼓粒盛期均随氮施用量的增加而增加, 开花期 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 的影响则明显高于 P<sub>0</sub>, 鼓粒盛期 SPAD 值随磷施用量的增加而增加, 氮肥、磷肥分别是影响开花期、鼓粒盛期 SPAD 值的主效因子。

蔗糖是菜用大豆籽粒中含量最高的糖, 对于蔗糖来说, 方差分析结果得出 3 因素显著影响了蔗糖含量, 且 3 因素互作效应明显。蔗糖含量随氮肥的增加先增后降, 这与章建新等的研究结果<sup>[18]</sup>相似。一般认为磷肥的响应结果也是相似的<sup>[19]</sup>, 本试验中蔗糖含量则随磷肥的增加而增加, 可能是由于磷肥的施用量未达到过量水平。本试验中蔗糖含量最高的氮磷钾施用量为 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 施肥水平表现出更高的蔗糖含量。

由于蔗糖含量的方程模型具有较高的拟合度, 能够对蔗糖含量进行预测, 从回归分析得出, 钾肥的施用对蔗糖含量影响不显著, 这与前人的研究结果<sup>[20-23]</sup>存在差异, 且钾肥与氮肥、磷肥不存在互作效应, 可能与钾肥施用水平的选择有关。尽管数学建模的拟合度有限, 但建模更有利于预测蔗糖与氮、磷肥施用量的关系, 从而得出最适施肥配方, 为今后的施肥水平设计提供具体方向。通过方程模拟得出在该试验范围内, N 施用量为 137.25 kg/hm<sup>2</sup>, P

施用量为 240 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 菜用大豆籽粒的蔗糖含量最高。

果糖与葡萄糖在籽粒中的含量相对较少, 回归分析得到的拟合效果不如蔗糖高, 但从多因素方差分析结果来看, 氮磷钾施肥能够显著影响果糖与葡萄糖含量的变化。并且果糖与葡萄糖受施肥影响差异较小, 较低浓度水平仍能够表现出较高的果糖、葡萄糖含量, 这可能与籽粒内糖类成分合成有关。

#### 参考文献:

- [1] 韩天富, 盖钧镒. 大豆发育分期标准的补充[J]. 大豆通报, 1998 (2): 25.
- [2] 施俊生. 豆类蔬菜种业管理措施探讨[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5): 822-824.
- [3] 张秋英, 李彦生, 王国栋, 等. 菜用大豆品质及其影响因素研究进展[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 1065-1070.
- [4] 李彦生. 菜用大豆食用品质形成及调控研究[D]. 哈尔滨: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2013.
- [5] 张玉梅, 胡润芳, 陈宇华, 等. 菜用大豆籽粒代谢物的相关性分析[J]. 大豆科学, 2018, 37(2): 231-238.
- [6] 汪自强, 艾麦里, 苏贤坤. 鲜食大豆食味品质的评价指标研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(3): 47-50.
- [7] Masuda R, Kaneko K, Yamashita I. Sugar and cyclitol determination in vegetables by HPLC using postcolumn fluorescent derivatization[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(6): 1186-1190.
- [8] 王丹英, 汪自强, 方勇, 等. 菜用大豆食味品质及其与内含物关系研究[J]. 金华职业技术学院学报, 2002, 2(3): 15-17, 61.
- [9] 张秋英, 李彦生, 刘长锴, 等. 菜用大豆食用品质关键组分及其积累动态研究[J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1692-1700.
- [10] 刘长锴. 钾素营养对菜用大豆籽粒蔗糖积累关键酶活性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016: 59.
- [11] 张洪刚, 周琴, 何小红, 等. 播期、密度和肥料对菜用大豆南农 9610 产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(5): 662-667.
- [12] 王远. 温度与精胺对菜用大豆采后生理及蔗糖代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 55.
- [13] 李彦生, 杜明, 刘长锴, 等. 播期对调控菜用大豆籽粒蔗糖形成关键酶活力的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 606-610.
- [14] 中华人民共和国农业部种植业管理司. 油料种籽中果糖、葡萄糖、蔗糖含量的测定 高效液相色谱法: GB/T 30390—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [15] 张俊峰, 蒯佳琳, 王晓巍, 等. 氮磷钾配施对戈壁日光温室基质槽培番茄产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(8): 94-102.
- [16] 王丹丹, 李燕, 张庆银, 等. 日光温室袋培番茄三因素五水平优化施肥方案[J]. 东北农业科学, 2022, 47(5): 88-92, 127.
- [17] 田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏. 高蛋白大豆肥效预测模型的正交多项式回归分析[J]. 黑龙江农业科学, 2020(8): 31-37.

钮颜宇,郭志祥,徐淑慧,等.地黄—大蒜轮作对大蒜生长及地黄化感自毒作用的影响[J].江苏农业科学,2023,51(3):139-146.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.03.021

# 地黄—大蒜轮作对大蒜生长及地黄化感自毒作用的影响

钮颜宇<sup>1</sup>,郭志祥<sup>1</sup>,徐淑慧<sup>1</sup>,孙香荣<sup>1</sup>,洪利亚<sup>1</sup>,王丰青<sup>1</sup>,张重义<sup>2</sup>,李娟<sup>1</sup>

(1.河南农业大学农学院,河南郑州 450000; 2.福建农林大学作物科学学院,福建福州 350002)

**摘要:**明确地黄—大蒜轮作模式对大蒜生长及地黄化感自毒作用的影响,为生产中通过合理轮作有效缓解地黄连作障碍提供理论依据。采用田间试验,设置地黄—大蒜(处理组)、玉米—大蒜(对照组)2个处理,研究地黄茬口对大蒜生长、产量和品质的影响,同时测定轮作前后土壤酶活性和酚酸类化合物含量;设置对照组、重茬组和轮作组3个处理,通过化感测试和盆栽试验,研究轮作大蒜对地黄化感自毒作用的影响。结果表明:处理组大蒜长势、产量品质均有一定程度提升;土壤蔗糖酶活性均极显著升高,土壤脲酶活性虽有所提升,但生育期内土壤脲酶活性均呈下降趋势;轮作大蒜能显著改变土壤酚酸的含量与种类;土壤化感测试结果表明,地黄—大蒜轮作组可促进地黄种子萌发,但对地黄幼苗根及茎的生长均有抑制;苗期盆栽试验结果显示,轮作组土壤地黄苗期死亡率明显增加,但根系扫描结果显示,轮作组存活下来的地黄苗,其苗期根表面积、体积、根尖数均优于重茬组。地黄—大蒜轮作模式可有效提高大蒜产量及品质,改良土壤环境,但轮作后土壤对地黄的化感作用表现出多元性,生产上大蒜—地黄轮作能否缓解地黄的连作障碍尚待进一步试验验证。

**关键词:**连作障碍;大蒜;土壤酶活性;轮作;酚酸;化感作用

**中图分类号:**S344.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)03-0139-08

在根类中药材生产栽培过程中,连作障碍是影响药材产量和品质的一个非常严重的问题。地黄(*Rehmannia glutinosa*)是应用广泛的大宗中药材之一,其种植过程中连作障碍问题尤为突出,研究发现连作使地黄叶绿素含量降低,光合能力下降,块根不膨大<sup>[1]</sup>。连作地黄根区有益菌种数量降低,真菌和放线菌数量增加<sup>[2-3]</sup>。目前对地黄连作障碍的研究多集中在分子形成机制方面<sup>[4-7]</sup>,可应用于实际生产的消减措施的研究较少,参考其他根类药用

植物消减连作障碍的研究发现,通过运用合理轮作模式可以有效缓解连作障碍,但研究主要侧重于轮作对连作障碍作物的影响上,而对选取轮作作物本身的产量和品质鲜少研究。一种合理的轮作模式要在农业生产系统中推广,轮作作物的经济效益也是必须考虑的因素之一。

大蒜(*Allium sativum*)具有广谱杀菌作用,大田生产中常被用来作为前茬作物,研究人员通过鉴定发现大蒜根系分泌物为邻苯二甲酸二丁酯、2,6-二异丙基苯酚等酚类物质以及二烯丙基二硫化物<sup>[8]</sup>,其中二烯丙基二硫化物为大蒜挥发油中的典型物质。研究表明酚类物质能够有效防止病虫害发生,大蒜根系分泌物主要成分对细菌引起的根腐病、枯萎病有显著抑制作用<sup>[9-12]</sup>。在膜侧栽培模式下,大蒜与当归间作,能有效改变土壤微生物数量,提高

收稿日期:2022-03-14

基金来源:国家自然科学基金(编号:81373910)。

作者简介:钮颜宇(1997—),女,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为药用植物栽培。E-mail:niuyanyu2013@qq.com。

通信作者:李娟,博士,副教授,主要从事药用植物栽培与资源研究。E-mail:juanli2003@126.com。

[18]章建新,李 宁,薛丽华,等.氮肥对菜用大豆产量和品质的影响[J].新疆农业大学学报,2007,30(1):6-10.

[19]郭丽璇,耿国涛,任 涛,等.施肥管理对油菜种子萌发特性的影响[J].中国土壤与肥料,2020(3):63-68.

[20]赵福成,谭禾平,包 斐,等.钾肥施用量对鲜食甜玉米产量和品质的影响[J].分子植物育种,2017,15(8):3363-3369.

[21]杜 明.钾肥施用对菜用大豆产量和品质的影响[D].哈尔

滨:东北农业大学,2012:27-29.

[22]Tu B J, Liu C K, Tian B W, et al. Reduced abscisic acid content is responsible for enhanced sucrose accumulation by potassium nutrition in vegetable soybean seeds[J]. Journal of Plant Research, 2017,130(3):551-558.

[23]黄艳霞,林子龙,陈根辉,等.密度和钾肥对鲜食型甘薯产量与品质的影响[J].江西农业学报,2020,32(12):50-54.