

白如霄,范守杰,和海秀,等. 不同氮磷肥施用量对甜菜生长、生理及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(10):117-124.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.10.019

不同氮磷肥施用量对甜菜生长、生理及产量品质的影响

白如霄^{1,2}, 范守杰¹, 和海秀¹, 罗静静¹, 崔 瑜¹

(1. 新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所畜牧科学研究所,新疆塔城 834601; 2. 新疆农垦科学院,新疆石河子 832000)

摘要:为明确氮磷肥施用量对甜菜生长及产量质量的影响,以甜菜品种 Beta796 为试验材料,设置了低氮高磷($N:P_2O_5=150\text{ kg/hm}^2:225\text{ kg/hm}^2$,T1)、高氮低磷($N:P_2O_5=270\text{ kg/hm}^2:120\text{ kg/hm}^2$,T2)、高氮高磷($N:P_2O_5=270\text{ kg/hm}^2:225\text{ kg/hm}^2$,T3)、不施氮正常施磷($N:P_2O_5=0\text{ kg/hm}^2:180\text{ kg/hm}^2$,N0)、不施磷正常施氮($N:P_2O_5=210\text{ kg/hm}^2:0\text{ kg/hm}^2$,P0)5 个施肥处理,研究不同氮磷肥配比对甜菜气体交换、干物质积累、产量及其构成因素的影响。结果表明,氮磷肥的配合施用相比于单独施用可促进甜菜的生长发育。尤其在施入 150 kg/hm^2 纯氮和 $225\text{ kg/hm}^2\text{ P}_2\text{O}_5$ 处理下可通过提高叶面积指数(LAI)、光合色素含量(SPAD 值)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)使叶片保持较高的光合速率(P_n)。该处理还通过提前干物质最大积累速率出现时间(t_1)、推迟最大积累速率结束时间(t_2),延长了干物质快速积累持续时间(Δt),最终提高干物质积累及收获期的块根产量。此外,该处理通过促进收获期块根中的糖代谢过程,增加了块根中的蔗糖和果糖含量,使更多的可溶性糖在块根中积累,但也降低了块根品质。综合不同处理下甜菜的产量和品质表现,新疆塔额盆地滴灌条件下甜菜的管理中氮磷肥推荐用量分别为 $150/225\text{ kg/hm}^2$ 。

关键词:氮肥;磷肥;滴灌甜菜;光合生理;干物质;产量;糖代谢

中图分类号:S566.306

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)10-0117-08

甜菜(*Beta vulgaris* L.)是除甘蔗外的另一重要糖料作物,主要种植于我国的西北、华北和东北干旱与半干旱地区,是当地重要的经济作物之一^[1]。新疆是我国甜菜主产区之一,种植面积约占全国种植面积的 41% 左右,而块根产量与产糖量则长期占据全国产量的前列^[2]。由于甜菜是一种需肥量比较大的作物,农户为追求块根产量以获得最大经济效益,在管理过程中过度施肥以获得高产,尤其以过度施氮肥或磷肥的现象最为常见^[3]。在甜菜的管理过程中投入适量的氮磷肥对甜菜的生长及产量具有促进作用,但少量或者过量施肥往往对甜菜的生长更为不利,不仅会造成甜菜产量和品质降低、生产成本增加,还会导致资源浪费及环境污染等问题^[4]。因此,如何做到科学施用氮肥和磷肥使甜菜生产达到提质增效、环境友好的积极效应,对

甜菜绿色高效的种植管理具有重要意义。

氮素作为甜菜生长的重要营养元素之一,对块根的形成具有重要的调控作用。关于甜菜生产过程中适宜的氮肥投入量,前人也开展了相关的探究。当氮肥(以纯 N 计,下同)投入量为 180 kg/hm^2 时甜菜收获的块根产量可以达到最大,超过该量后产量随施氮量增加而逐渐下降^[5]。因为施入过多氮肥一方面会导致甜菜的地上部分在中后期徒长,生长中心上移,不利于干物质向地下部分转移;另一方面,过多的氮素会减少甜菜块根内的糖分积累,这对于甜菜块根的增长和糖分的积累极为不利^[6]。也有研究认为,当施氮量为 120 kg/hm^2 时,甜菜植株的根冠比最为合理,并且该施氮量对块根中糖分积累的贡献也最优。但当施氮量再增加时,虽对增加块根质量有促进作用,却对糖分积累无益^[7]。说明氮素调控对块根含糖率及糖产量有重要影响。除氮肥外,磷素也是作物生长过程中的重要元素之一,参与植物的光合和呼吸代谢、ATP 形成及生物膜构建等生物过程^[8-9]。相关研究表明,甜菜干物质积累量与施磷量呈显著的正相关,尤其当施磷量(以 P_2O_5 计,下同)在 150 kg/hm^2 时,可显著提高甜菜的叶面积指数(LAI)、相对叶绿素含量(SPAD 值)和光合速率^[4,10-12],然而,过量施磷并

收稿日期:2021-12-03

基金项目:新疆生产建设兵团重点领域科技攻关(编号:2018AB036);新疆生产建设兵团九师科技攻关(编号:2020JS015、2020JS001)。

作者简介:白如霄(1987—),男,甘肃环县人,硕士,助理研究员,主要从事作物营养与施肥研究。E-mail:brx_shz@163.com。

通信作者:崔 瑜,高级农艺师,主要从事甜菜高产栽培技术研究。E-mail:1178245828@qq.com。

不会通过提高叶绿素含量和光合速率以促进干物质积累^[13-14]。随着对作物营养元素之间相互作用和它们在植株中的分配比例及增产效应的研究日益深入,明确适宜的氮磷肥施用量是提高甜菜块根产量和产糖量的重要措施^[15]。目前,氮磷肥互作对甜菜产质量协同提高的研究得出的最佳比例各不相同,没有确切的结论。基于此,本研究通过设置不同氮磷肥施用量,研究其对甜菜光合特性、物质转运及产量品质的影响,以期明确最佳氮磷肥施用量,为新疆塔额盆地垦区滴灌甜菜高产优质的氮磷肥管理奠定理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

田间试验于 2020 年在新疆塔额盆地 163 团 3 连(46°48'N,84°02'E,海拔 545 m)进行。该区域属中温带大陆性气候,年平均日照 3 026 h,≥5℃有效积温 2 800~3 200℃,无霜期 126~141 d,年均降水量 398.4 mm,年潜在蒸发量 1 515.5 mm。供试地土壤为沙壤土,0~20 cm 土壤中有机质含量为 18.4 g/kg,碱解氮含量为 46.23 mg/kg,有效磷含量为 21.24 mg/kg,速效钾含量为 225.8 mg/kg,pH 值为 7.6。供试甜菜品种是美国 BETASEED 公司选育的 BETA796,为塔额垦区近年来主栽甜菜品种。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,设置了 5 个不同氮磷肥施用量处理,即低氮高磷(N:P₂O₅ = 150 kg/hm²:225 kg/hm²,T1)、高氮低磷(N:P₂O₅ = 270 kg/hm²:120 kg/hm²,T2)、高氮高磷(N:P₂O₅ = 270 kg/hm²:225 kg/hm²,T3)、不施氮正常施磷(N:P₂O₅ = 0 kg/hm²:180 kg/hm²,N0,当地正常磷肥管理水平)、不施磷正常施氮(N:P₂O₅ = 210 kg/hm²:0 kg/hm²,P0,当地正常氮肥管理水平)5 个处理,在每个处理中均施入钾肥 150 kg/hm²(以 K₂O 计,下同)。每个处理重复 3 次,共 15 个小区,每个小区面积为 50 m²(10 m×5 m)。甜菜于 4 月 10 日播种,4 月 20 日出苗,行距 50 cm,株距 20 cm,为防止各小区间水肥互相影响,各小区之间设置 1 m 间隔。氮肥选择尿素(含 N 46%)、磷肥选择磷酸二铵(含 N、P₂O₅ 分别为 18%、46%)、钾肥选择硫酸钾(含 K₂O 51%),通过水肥一体化的滴灌系统全部作为追肥施用。其中,蹲苗结束后第 1 水施入总氮肥的 35%、总磷肥的 30%,剩余 65% 的氮

肥、70% 的磷肥及全部钾肥在第 2 次至第 4 次进水时随水滴入。灌水量、灌水时间及其他田间管理与当地甜菜大田生产保持一致。

1.3 测定指标

1.3.1 农艺性状测定 在甜菜苗后 30 d(6 月 20 日,苗期)、60 d(7 月 20 日,叶丛快速生长期)、90 d(8 月 19 日,块根膨大期)、120 d(9 月 19 日,糖分积累期)、150 d(10 月 13 日,收获期)时选择长势一致的 1 m² 甜菜进行破坏性取样,将植株分为叶片、叶柄、块根分别装袋称质量,在 105℃烘箱中杀青 30 min,后 75℃烘干至恒质量记为干物质。使用 Li-3000C(Li-Cor, Lincoln, NE, USA)叶面积仪扫描叶面积,用于计算叶面积指数。在甜菜糖分积累起至收获期间(出苗后 135 d)对各处理选取长势一致的 3 株,切取中心部位液氮保存带回室内超低温保存,用于后期测定糖代谢相关酶活性。

1.3.2 产量和品质性状测定 收获期对各处理小区进行实收,即每处理量取 10 m²后将所有块根拔出、削去青头及根毛后准确称量,各试验小区单位面积的块根鲜质量、单位面积块根数及保苗数。使用甜菜品质分析仪(德国,维尼玛)进行 α-N、K⁺和 Na⁺含量测定。在甜菜收获期对各处理选取 9 株甜菜,拔出块根后削去青头,测量单株质量和含糖率。含糖率使用 ATAGO 糖度计(ATAGO, R)进行测定,含糖实际值 = 测量值 × 0.83。

1.3.3 块根膨大期气体交换特征参数测定 在块根膨大期结束后使用 LI-6400XT 便携式光合系统(Li-cor Inc., United States)测定功能叶(第 15 叶)的气体交换参数。测定时间为 12:00—13:00,叶室内光子通量密度(PPFD)为 1 800 μmol/(m²·s),温度设为 25℃,参比室内 CO₂ 浓度设为 400 μmol/(m²·s),相对湿度控制为 80%。自动记录净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)。

1.3.4 可溶性总糖含量及相关酶活性测定 蔗糖磷酸酶和蔗糖合成酶的提取和测定:取 0.5 g 预冷的甜菜块根加入 3 mL 提取液(100 mmol/L pH 值 7.2 的 Tris-HCl、10 mmol/L MgCl₂、1 mmol/L EDTA-Na₂、10 mmol/L β-巯基乙醇、2% 乙二醇、1% PVPP)于研钵中快速研磨成均匀糊状后,再倒入离心管中,在低温冷冻超速离心机上 12 000 r/min 离心 10 min,取上清液,用购买自南京建成生物公司的试剂盒测定蔗糖磷酸酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)活

性。收获期块根中可溶性总糖含量、蔗糖含量、果糖含量、葡萄糖含量测定参考张翼飞的方法^[15]。

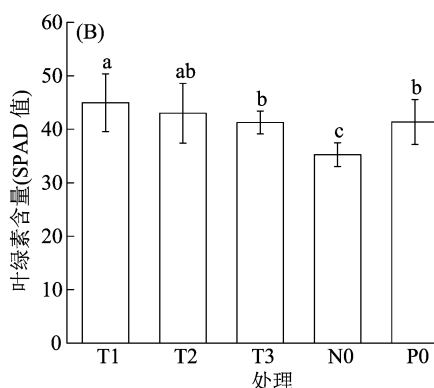
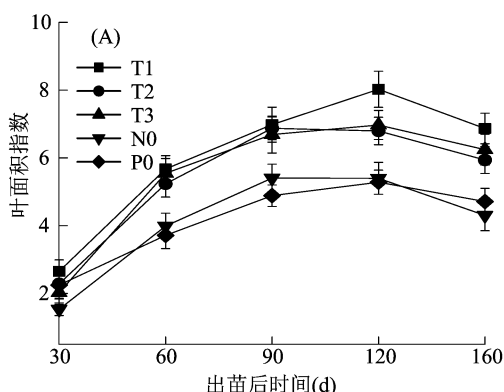
1.4 数据统计与分析

使用 Excel 2016 对数据进行初步整理;使用 SPSS 25.0 (IBM Corporation) 进行数据常规统计分析。采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和 Duncan's 法进行数据差异显著性检验 ($\alpha = 0.05$);使用 Origin 2020b (OriginLab Corporation) 对统计数据可视化进行 Logistic 拟合。

2 结果与分析

2.1 不同氮磷肥施用量对叶面积指数 (LAI) 及叶绿素含量的影响

由图 1-A 可知,不同氮磷肥施用量下甜菜的



图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。图 2、图 4 同

图1 甜菜不同生育期的 LAI 及糖分积累期的 SPAD 值

2.2 不同氮磷肥施用量对光合速率的影响

气体交换参数是评价作物物质同化速率的重要指标之一。通过对块根膨大期的气体交换测定后发现,配合施用氮磷肥相比于单施显著提高了甜菜叶片的净光合速率 (图 2-A) 和气孔导度 (图 2-D)。其中,净光合速率在 T1、T2、T3 处理下分别显著高出单施磷的 N0 处理 42.05%、77.60%、58.70%,高出单施氮的 P0 处理 44.25%、80.34%、61.16%;而气孔导度在 T1、T2、T3 处理下分别显著高出 N0 处理 38.81%、43.44%、30.51%,高出 P0 处理 40.53%、45.21%、32.12%。蒸腾速率 (图 2-B) 和胞间 CO_2 浓度 (图 2-C) 虽在 T2 处理下最高,但与其他处理差异不显著。

2.3 不同氮磷肥施用量对甜菜干物质的影响

由图 3 可知,地上部分干物质积累随生育时期推移呈先升后降趋势,各处理在糖分积累期 (苗后

叶面积指数 (LAI) 随生育时期推移呈先升高后下降趋势。其中, T1、T2、T3 处理在苗期结束后显著高于 N0、P0 处理,说明氮肥、磷肥的配合施用相比于单独施用会通过增加叶片面积提高叶面积指数。叶丛期、块根膨大期 T1、T2、T3 处理间差异较小,但在糖分积累期、收获期时 T1 处理显著高出 T2 处理 18.10%、15.11%、高出 T3 处理 15.69%、9.98%,而 N0 与 P0 处理在上述时期内的差异较小。通过测定块根膨大期的相对叶绿素含量 (SPAD 值) 发现,在低氮高磷的 T1 处理下最高,高出正常施磷的 N0 处理 27.50%,高出正常施氮的 P0 处理 8.70%。虽然 T2、T3 处理的 SPAD 值低于 T1 处理,但与正常施氮的 P0 处理之间的差异不显著。

120 d) 时干物质积累量最大,而地下部分干物质积累随生育时期推移呈持续增加趋势,在收获期时最大。通过比较不同处理发现,氮磷肥配合施用相较于单施提高了植株的干物质积累量。其中,低氮高磷的 T1 处理在全生育期内所积累的干物质质量大于高氮高磷的 T3 处理和高氮低磷的 T2 处理,表明在甜菜生长过程中施入过多氮素或者单施氮素均不利于甜菜的生长,但施入少量氮肥且配合足量的磷肥时,可通过提高甜菜地上部分和地下部分的生长以增加干物质。

通过使用生长模拟模型对地上部分和地下部分的干物质积累量进行拟合后得到的相关生长参数可知,氮磷肥配合施用后提高了地上部分和地下部分的干物质最大积累速率 (v_{\max}),尤其在低氮高磷的 T1 处理下最大,地上部分分别高出 T2、T3 处理 26.06%、5.16%,地下部分则分别高出 T2、T3 处

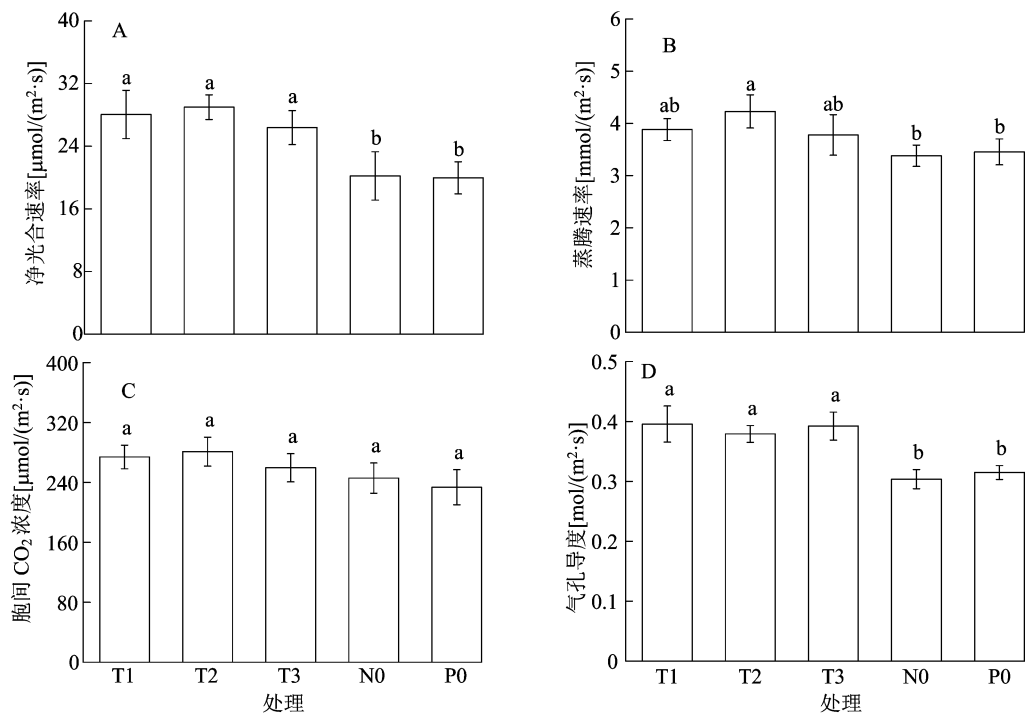


图2 不同处理甜菜糖分积累期气体交换参数

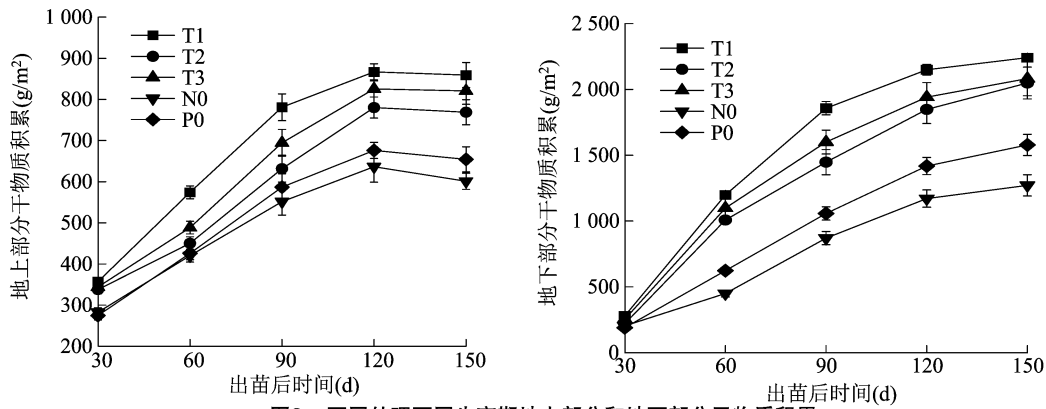


图3 不同处理不同生育期地上部分和地下部分干物质积累

理 18.80%、9.41%。此外,氮磷肥配合施用相较于单施处理,还提前了最大积累速率出现时间(t_1)和推迟最大积累速率结束时间(t_2),使地上部分的快速积累持续时间(Δt)平均增加了 8 d(配合施肥处理均值与单施处理均值的差),而地下部分的持续时间则增加了 5 d(表 1)。

2.4 不同氮磷肥施用量对甜菜可溶性糖含量及酶活性的影响

甜菜的收获期是块根内各糖组分稳定积累、储存的重要阶段,也是决定最终收获糖产量的时期。由图 4 可知,低氮高磷的 T1 处理与高氮高磷的 T3 处理可溶性总糖含量显著高于其他处理,而单施氮肥与单施磷肥增加了 14.20% 的可溶性总糖含量

(图 4 - A)。通过比较各糖组分发现,氮磷肥的配合施用相较于单施处理,提高了 23.61% 的蔗糖含量(配施处理均值与单施处理均值差的比值,下同)与 35.42% 的果糖含量,但对葡萄糖含量的影响不显著(图 4 - B、图 4 - C、图 4 - D)。蔗糖磷酸酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)活性是块根中糖分生成的关键催化酶,对糖分积累具有重要作用。由图 4 - E、图 4 - F 可知,T1 处理的 SPS 酶活性分别显著高出 T2、T3 处理 22.22%、29.41%,但在 T2、T3 处理之间无显著差异;而通过比较 3 个配合施肥处理下的 SS 酶活性可知,低氮高磷的 T1 处理分别显著高出 T2、T3 处理 30.23%、27.27%。但是在单施氮肥和单施磷肥的 2 个处理间,2 个酶活性均无显著差异。

表 1 地上部分和地下部分干物质积累特征值

处理	模拟方程	v_{\max} [g/(m ² ·d)]	t_0 (d)	t_1 (d)	t_2 (d)	Δt (d)	r^2
地上部分	T1 $y = 867.21/[1 + e^{(1.54 - 0.04x)}]$	8.97	49	14	87	73	0.99
	T2 $y = 780.22/[1 + e^{(1.60 - 0.04x)}]$	6.95	55	16	86	70	0.98
	T3 $y = 825.43/[1 + e^{(1.98 - 0.05x)}]$	8.53	56	15	84	69	0.98
	N0 $y = 636.52/[1 + e^{(1.53 - 0.04x)}]$	6.46	48	18	78	60	0.95
	P0 $y = 670.01/[1 + e^{(1.37 - 0.04x)}]$	6.75	44	17	81	64	0.93
地下部分	T1 $y = 2\,241.18/[1 + e^{(3.45 - 0.05x)}]$	28.25	72	50	111	61	0.96
	T2 $y = 2\,048.36/[1 + e^{(3.24 - 0.05x)}]$	23.78	80	52	109	57	0.95
	T3 $y = 2\,082.20/[1 + e^{(3.23 - 0.05x)}]$	25.82	75	49	105	56	0.98
	N0 $y = 1\,578.31/[1 + e^{(3.30 - 0.04x)}]$	17.96	82	53	103	50	0.97
	P0 $y = 1\,271.31/[1 + e^{(3.19 - 0.05x)}]$	15.53	80	51	108	57	0.96

注: v_{\max} 为干物质积累最大速率(g/d); t_0 为干物质最大积累速率出现时间(d); t_1 、 t_2 为干物质最大积累速率出现的起始和结束时间(d); Δt 为快速积累期持续时间。

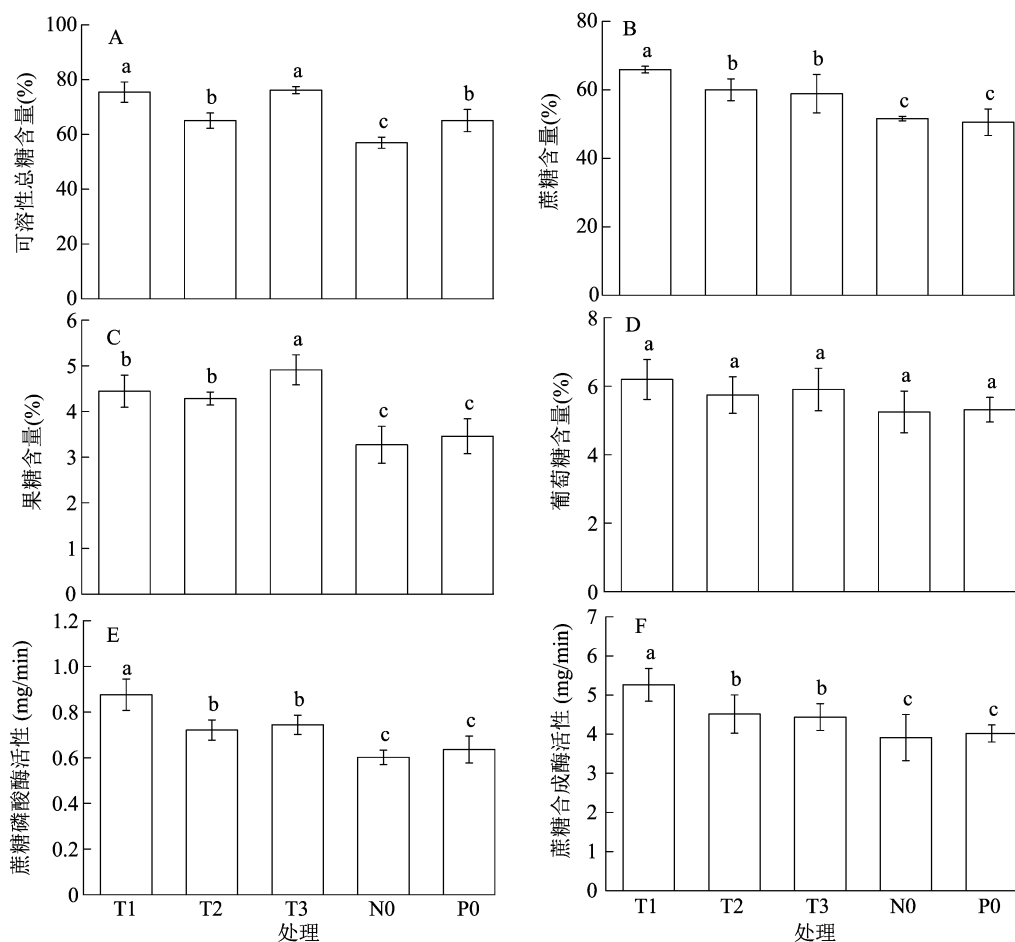


图4 不同处理甜菜收获期块根中可溶性糖含量及酶活性

2.5 不同氮磷肥施用量对甜菜产量和品质的影响

从表 2 可以看出,氮磷肥的配合施用相较于单施处理,显著提高了 24.77% 的单株质量(配施处理均值与单施处理均值差的比值,下同)、26.40% 的

块根产量和 21.27% 的产糖量,说明氮磷肥的配合施用对甜菜块根生长有显著促进作用,通过促进单株质量提高块根产量和糖产量。虽然 T1、T2、T3 处理间的单株质量和块根产量之间差异较小,但糖产

量在 T1 处理下显著高出 T2 处理 6.54%,高出 T3 处理 4.24%。甜菜块根中灰分含量是评价块根品

质的重要参数,氮磷肥的配合施用增加了块根中 Na^+ 和 $\alpha-\text{N}$ 含量,但也降低了块根中的 K^+ 含量。

表 2 不同处理甜菜产量及其品质

处理	单株质量 (kg/株)	含糖率 (%)	产量 (kg/hm ²)	产糖量 (kg/hm ²)	含量 (mmol/100 g)		
					Na^+	K^+	$\alpha-\text{N}$
T1	1.37 ± 0.22a	16.30 ± 2.02b	112.90 ± 21.89a	18.42 ± 1.22a	1.40 ± 0.12ab	3.92 ± 0.54c	1.60 ± 0.14ab
T2	1.35 ± 0.32a	15.81 ± 1.15c	109.35 ± 36.22ab	17.29 ± 2.53b	1.80 ± 0.14a	3.77 ± 0.38c	1.53 ± 0.11ab
T3	1.36 ± 0.51a	16.42 ± 1.52b	107.65 ± 38.94ab	17.67 ± 2.15b	1.13 ± 0.24b	3.57 ± 0.55c	1.84 ± 0.23a
N0	1.05 ± 0.23b	17.68 ± 2.31a	84.01 ± 25.22b	14.85 ± 1.59c	0.89 ± 0.21c	4.72 ± 0.71a	1.38 ± 0.21b
P0	1.13 ± 0.12b	16.09 ± 2.12b	89.95 ± 18.56b	14.48 ± 0.85c	0.83 ± 0.35c	4.26 ± 0.34ab	0.83 ± 0.18c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.6 指标间的相关性分析

由图 5 可知,块根中各糖组分及相关酶活性与品质参数具有不同程度相关(图 5-A)。其中可溶性总糖(TSS)、蔗糖(SC)、果糖(FC)、葡萄糖(GC)与蔗糖磷酸酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS)活性呈正相关。块根中的 K^+ 与糖组分及相关酶活性之间呈负相关,且与蔗糖及葡萄糖含量之间的负相关达到显著水平($P<0.05$),而 Na^+ 及 $\alpha-\text{N}$ 则与其他指标间呈正相关。通过对产量及产糖量与植株的生理参数进行相关性分析发现,单株质量(PW)、产量(RY)、产糖量(SY)与叶面积指数(LAI)、相对叶绿素含量(SPAD)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)之间呈正相关,且与 LAI、 T_r 的正相关达显著水平($P<0.05$)。

3 讨论与结论

施用化学肥料是作物栽培管理中的重要调控措施,对作物的干物质积累与分配及产量具有重要作用^[16-18]。氮、磷是作物体内参与光合作用各个阶段物质转化、光合产物运转和能量传递的重要元素,对作物生长具有重要作用^[19-21]。前人在对甜菜的研究中认为,施入 150 kg/hm² 左右的氮肥或磷肥可显著促进甜菜的生长及物质积累^[4-5]。本研究中施入低氮(150 kg/hm²)、高磷(225 kg/hm²)时在全生育期内的叶面积指数及干物质积累量最高,且 LAI 在块根膨大期之前与高氮低磷处理及高氮高磷处理之间差异较小,在块根膨大期之后则显著高于其他处理。表明低氮高磷肥的配合施用不仅能促进甜菜地上部叶片生长,提高冠层的叶面积指数,还通过延迟叶片衰老及延长最大干物质积累速率的持续时间(大约持续 8 d),使甜菜在中后期依然保持较高的光合同化面积,最终提高了地上部及地

下部的干物质积累。这与前者推荐的施氮量一致,但是施磷量不一致,对甜菜生长均有积极的影响,这可能与施入的大量磷肥的促进效应相关。此外,甜菜虽然是一种需求水肥较大的作物,其生长期内供应过多的营养元素也会导致其碳氮比失调,干物质向根部分配量减少而向地上部分分配增多^[22-23]。本试验中高氮高磷处理下地下部分干物质积累情况并不是最优,这与前人的研究结果一致。

甜菜的物质积累过程除了与叶面积指数有关外,还与叶片本身的色素含量、物质同化能力有关。本研究通过对块根膨大期(叶片面积最大、物质同化最活跃的阶段)的 SPAD 值及气体交换参数进行测定后发现,T1 处理通过提高叶片的光合色素含量、气孔导度和胞间 CO_2 浓度促进了物质同化能力,这与张婷等的研究结果^[4]类似。在保证氮肥充足的条件下,增施磷肥一方面通过促进光合作用的生化过程提高了光合速率,另一方面通过提高叶片面积及内部色素含量,为光合作用提供了良好的场地和反应的底物,从而为物质合成与积累奠定了基础^[6,24]。但过量施用氮、磷肥会造成植株群体内透光条件变差(冠层覆盖度过大),群体的叶面积指数和光合速率降低,群体呼吸消耗所占比例增加,不利于植株干物质的积累^[25-26],这也可能是本试验中高氮高磷处理条件下甜菜的光合能力没有高于低氮高磷处理的原因之一。

甜菜是收获块根的一种特殊作物,而块根中的糖分含量又决定了其经济价值。相关研究均表明,供应过多营养元素虽然会提高块根单产,但也会致使根体中影响品质的物质(K^+ 、 Na^+ 、 $\alpha-\text{N}$)增加及含糖率降低^[27-28]。然而,甜菜产量也并不是随着施肥量增加而持续增加,超出阈值时也会降低单产^[29-30]。研究认为,施磷量为 150 kg/hm²时产量最

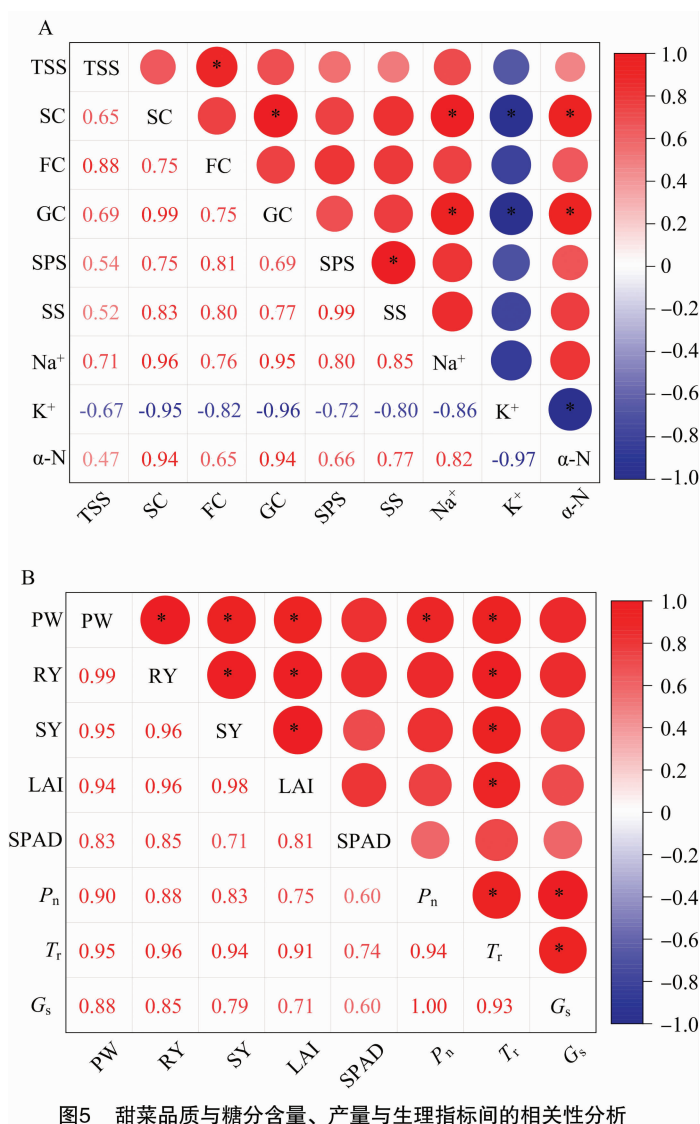


图5 甜菜品质与糖分含量、产量与生理指标间的相关性分析

优,当施磷量大于 150 kg/hm^2 ,增产效果与施磷量呈负相关^[4]。在本研究中,T1、T2、T3 这 3 个处理下的块根单株质量和块根产量虽然没有明显差异,但是施入低氮高磷时却通过显著提高蔗糖转化相关酶活性,使糖组分中的蔗糖、果糖含量增加,进而提高了可溶性糖含量,说明多施入磷肥也可促进根部的糖分生产。尽管施肥可以最大限度提高甜菜产量,但施肥量与甜菜品质有很大负相关,可导致含糖率、K⁺ 含量降低,Na⁺、α-N 含量增加^[31-32],本研究得到类似的结果。增加块根中的 K⁺、Na⁺、α-N 这 3 种物质的含量会直接影响糖的提取,导致制糖成本增加和工艺损失^[33]。此外,通过对糖组分及相关酶活性与品质指标进行相关性分析发现,收获期块根中 Na⁺、α-N 含量受到各糖组分及酶活性的正向影响,而 K⁺ 则受到负向的调控,说明在

甜菜种植管理过程中,可以通过调控糖代谢途径进而提升收获期的块根品质。与块根品质参数不同的是,块根产量及经济产量(糖产量)受到 LAI、色素含量及气体交换的正向调控。这是因为甜菜叶片面积和色素含量决定了光合速率中“源”的大小,而蒸腾速率和气孔导度则决定了光合速率中“源”的快慢,二者协同提高可促进甜菜的物质积累过程,使中后期有充足的光合产物转移到地下部分储存,提高块根产量。

在新疆塔额盆地的甜菜种植管理中,氮肥和磷肥的配合施用相比于单独施用可促进甜菜的生长发育以增加产量。尤其在施入 150 kg/hm^2 纯氮和 225 kg/hm^2 纯磷处理下可通过提高叶面积指数、光合色素含量、气孔导度和蒸腾速率使叶片保持较高的光合能力,促进地上部分和地下部分的干物质积

累及块根产量形成。此外,该施肥模式也提高了收获期块根中的糖代谢过程,通过增加蔗糖和果糖含量使更多的可溶性糖在块根中积累,提高了甜菜的产糖量。

参考文献:

- [1] 苏继霞,王开勇,费 聪,等. 氮肥运筹对干旱区滴灌甜菜氮素利用及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(1):72-75.
- [2] 徐林峰,戴宇祥,周红亮,等. 氮素运筹对干旱区滴灌甜菜生长的影响[J]. 中国糖料,2019,41(3):40-44.
- [3] 曲文章,崔 杰,高妙贞,等. 施氮量对甜菜氮代谢及产量与品质的影响[J]. 中国甜菜,1994,16(4):16-21.
- [4] 张 婷,张博文,李国龙,等. 磷酸二铵施用量及方式对甜菜光合性能和产量的影响[J]. 作物杂志,2021(5):187-193.
- [5] 李 智,李国龙,孙亚卿,等. 膜下滴灌水氮供应对甜菜氮素同化和利用的影响[J]. 植物生理学报,2019,55(6):803-813.
- [6] 王国兴,徐福利,王渭玲,等. 氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):106-111.
- [7] 蔡柏岩,葛菁萍,曲文章,等. 氮素水平与甜菜产质量关系的研究[J]. 中国甜菜糖业,2005(1):18-20.
- [8] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. Nature,2002,418(6898):671-677.
- [9] Cassman K G, Dobermann A, Walters D T, et al. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality[J]. Annual Review of Environment and Resources,2003,28:315-358.
- [10] 何佩云,黄小燕,王 雨,等. 磷肥用量对甜芥 *Fagopyrum esculentum* 根系形态、产量及品质的影响[J]. 福建农业学报,2019,34(9):1003-1008.
- [11] Zhang W, Chen X X, Liu Y M, et al. The role of phosphorus supply in maximizing the leaf area, photosynthetic rate, coordinated to grain yield of summer maize[J]. Field Crops Research,2018,219:113-119.
- [12] 邢 倩,谷艳芳,高志英,等. 氮、磷、钾营养对冬小麦光合作用及水分利用的影响[J]. 生态学杂志,2008,27(3):355-360.
- [13] 肖旭峰,刘明月,周庆红,等. 氮磷钾肥配施与马铃薯微型薯产量的相关性[J]. 西北农业学报,2012,21(9):69-73.
- [14] 张 勉,孙 敏,高志强,等. 施磷对旱地小麦土壤水分、干物质累积和转运的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(1):98-103.
- [15] 张翼飞. 施氮对甜菜氮素同化与碳代谢的调控机制研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.
- [16] 张卫峰,马 林,黄高强,等. 中国氮肥发展、贡献和挑战[J]. 中国农业科学,2013,46(15):3161-3171.
- [17] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution,2006,143(1):117-125.
- [18] Manderscheid R, Pacholski A, Frühauf C, et al. Effects of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth and yield of winter barley cultivated in a crop rotation[J]. Field Crops Research,2009,110(3):185-196.
- [19] 杨 威,李 忠,李仪琳,等. 磷肥对农作物产量和品质的影响研究综述[J]. 安徽农学通报,2015,21(20):66-67,70.
- [20] 石 伟,张丽梅,王劲松,等. 磷肥在旱地红壤上的后期效应及其作用机制[J/OL]. [2022-02-21]. 土壤学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20211126.1159.004.html>.
- [21] 苏文斌,黄春燕,樊福义,等. 甜菜膜下滴灌高产优质农艺栽培措施的研究[J]. 中国糖料,2016,38(1):15-18.
- [22] 费 聪. 氮素运筹对露播滴灌甜菜产量和品质的影响[D]. 石河子:石河子大学,2016.
- [23] 王玉波,马凤鸣,李彩凤,等. 甜菜平衡施用氮磷钾肥料效应的研究[J]. 东北农业大学学报,2012,43(7):80-84.
- [24] 曾广伟,兰进好,刘义国,等. 不同土壤水分条件下施磷对小麦光合性能和产量影响比较[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):41-46.
- [25] 李 强,章建新,甘玉柱. 施氮对高产甜菜干物质积累分配及产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(5):55-59.
- [26] 陈远学,李汉邯,周 涛,等. 施磷对间套作玉米叶面积指数、干物质积累分配及磷肥利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(10):2799-2806.
- [27] Mahn K, Hoffmann C, Märlander B. Distribution of quality components in different morphological sections of sugar beet (*Beta vulgaris* L.)[J]. European Journal of Agronomy,2002,17(1):29-39.
- [28] Hoffmann C M, Märlander B. Composition of harmful nitrogen in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) - amino acids, betaine, nitrate - as affected by genotype and environment[J]. European Journal of Agronomy,2005,22(3):255-265.
- [29] 魏 丹. 甜菜的施肥与品质[J]. 中国糖料,1999,21(1):41.
- [30] 曲文章. 中国甜菜学[M]. 哈尔滨:黑龙江人民出版社,2003.
- [31] Armin M, Asgharipou M R. Effect of time and concentration of boron foliar application on yield and quality of sugar beet[J]. Asian Journal of Plant Sciences,2011,10(5):307-311.
- [32] 李 智. 膜下滴灌甜菜水氮耦合的生理效应[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [33] 张福顺,林柏森,倪洪涛. 影响甜菜品质的因素浅论[J]. 中国农学通报,2017,33(22):24-29.