

基质栽培韭菜营养液 N、K 适宜配比筛选

赫怡佳, 牛银萍, 李泽斌, 王 星, 李楠洋

(河北工程大学园林与生态工程学院 河北邯郸 056038)

摘 要:为探究氮(N)、钾(K)营养供应对韭菜无土基质栽培的影响,本研究以平韭 4 号为试材,以山崎营养液[氮浓度(ρ ,后同)为 $90.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、钾浓度为 $156.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$]为对照(CK),在山崎营养液的基础上,设置氮浓度分别增加 10%、15%及减少 10%、15%,钾浓度分别增加或减少 10% 14 个处理,共 15 个处理。系统比较了不同氮、钾配比对韭菜生长、光合特性、根系活力及品质指标的影响。结果表明,与 CK 相比,不同氮钾配比处理对韭菜生理和品质指标影响显著。氮浓度减少 15%、钾浓度减少 10%处理的叶长、叶宽、叶片数、干鲜质量及叶绿素含量均较高,净光合速率较 CK 显著提高 12.36%,维生素 C 和可溶性糖含量较 CK 分别显著提高 15.55%和 8.56%,丙酮酸含量较 CK 显著提高 21.20%,大蒜素含量达 0.31%,显著高于 CK,且隶属函数综合得分最高。综上,营养液氮浓度减少 15%、钾浓度减少 10%时可改善韭菜光合能力与营养品质,实现绿色高效栽培,为设施韭菜养分精准管理提供了理论参考。

关键词:韭菜;氮;钾;营养液;基质栽培;品质

中图分类号:S633.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-193-08

Optimization of nitrogen and potassium supply ratio in nutrient solution for substrate cultivation of Chinese leek

He Yijia, Niu Yinping, Li Zebin, Wang Xing, Li Nanyang

(College of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: To investigate the effects of nitrogen (N) and potassium (K) nutrient supply on soilless substrate cultivation of Chinese leek, this study used Pingjiu No. 4 as the test material. The Yamazaki nutrient solution [with nitrogen concentration (ρ , the same below) of $90.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and potassium concentration of $156.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$] was used as the control (CK). On the basis of the Yamazaki nutrient solution, 14 treatments were set up, including increasing the nitrogen concentration by 10% and 15%, respectively, decreasing it by 10% and 15%, respectively, and increasing or decreasing the potassium concentration by 10%. In total, there were 15 treatments. The effects of different N and K ratio on the growth, photosynthetic characteristics, root activity, and quality indicators of Chinese leek were systematically compared. The results showed that compared with CK, the N and K ratio had significant effects on the physiology and quality indicators of Chinese leek. In the treatment with a 15% decrease in nitrogen concentration and a 10% decrease in potassium concentration, the leaf length, leaf width, number of leaves, dry and fresh mass, and chlorophyll content were all relatively high. The net photosynthetic rate was significantly increased by 12.36% compared with CK, and the content of vitamin C and soluble sugar were significantly increased by 15.55% and 8.56%, respectively, compared with CK, the pyruvate content was significantly increased by 21.20% compared with CK, and the allicin content reached 0.31%, which was significantly higher than that of CK. Moreover, the comprehensive score of the membership function was the highest. In conclusion, the treatment with a 15% decrease in nitrogen concentration and a 10% decrease in potassium concentration can improve the photosynthetic capacity and nutritional quality of Chinese leek, achieve green and efficient cultivation, and provide a theoretical reference for the precise nutrient management of Chinese leek in facility.

Key words: Leek; Nitrogen; Potassium; Nutrient solution; Substrate cultivation; Quality

韭菜(*Allium tuberosum* Rottl. ex Spr.)作为重要的百合科蔬菜,富含多种营养物质,其可食用部分具有独特的辛辣风味和药用价值^[1-2]。我国韭菜种

植历史悠久,2025 年种植面积约 60 万 hm^2 ,但长期连作导致土壤韭蛆危害加剧、质地恶化。人们为追求高产,过量施用化肥和剧毒农药,导致农残超标、

收稿日期:2025-11-09;修回日期:2026-01-10

作者简介:赫怡佳,女,在读硕士研究生,主要从事设施园艺研究。E-mail:17367690592@163.com

通信作者:李楠洋,男,讲师,主要从事植物抗病分子机理等研究工作。E-mail:linanyang130430@126.com

营养品质下降等问题^[3-4],严重制约产业的绿色、可持续发展。基质栽培为克服连作障碍、实现韭菜绿色生产提供了有效途径^[5]。氮(N)和钾(K)是影响韭菜生长发育和品质形成的关键元素。氮素作为“生命元素”可促进植株生长,提高产量及可食用部位的氨基酸与蛋白质含量;过量施氮则会抑制植株生长并可能干扰其他元素吸收^[6]。钾素不仅能增强植株抗逆性、提高根系活力,还可作为活化剂参与蛋白质合成,并促进氮素高效利用^[7]。研究表明,适宜钾肥施用可提高韭菜可溶性糖、氨基酸含量及干物质积累量,同时可有效降低硝酸盐含量^[8]。故优化无土栽培营养液的氮钾配比,对实现韭菜高产优质至关重要。鉴于传统土壤栽培的瓶颈及氮钾营养对韭菜品质和生长的重要性,本研究以平韭 4 号为试材,采用基质营养液栽培方法,重点探究不同氮钾比对韭菜生物量、光合特性(叶绿素含量、净光合速率等)、根系活力、营养品质(丙酮酸含量等)及综合生长状况的影响。旨在筛选出促进韭菜绿色优质生产的适宜氮钾营养液配方,为无土栽培韭菜的养分精准管理提供理论依据和实践参考。

1 材料与方

1.1 材料

供试韭菜品种为平韭 4 号,由河南省扶沟县富生韭业有限公司提供。具有生长势强、抗逆性好、产量稳定等特性,是当地广泛栽培的品种之一。栽培基质由综合型基质(荷兰 Dutch Plantin 公司)与珍珠岩按体积比 2:1 均匀混合配制而成。该混合基质的容重为 1.21 g·cm³,总孔隙度为 57.32%,有机质含量为(w,后同)214 g·kg⁻¹,速效氮含量为 380 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 1043 mg·kg⁻¹,速效磷含量为 213 mg·kg⁻¹。试验采用直径 35 cm、高 20 cm 的圆形塑料盆作为栽培容器,盆底均匀开设 6 个直径为 0.8 cm 的圆形透气孔,以确保根系通气良好,防止积水烂根。

1.2 方法

试验于 2024 年 10 月至 2025 年 5 月在河北工程大学洺关校区设施温室内开展。种子于 2024 年 10 月播种,越冬后待幼苗 3 叶 1 心期移栽入盆,每盆定植约 30 株。试验设置 15 个处理:CK 采用山崎营养液^[9][N 浓度(ρ ,后同)为 90.91 mg·L⁻¹,K 浓度为 156.24 mg·L⁻¹],大量元素配方见表 1;氮钾配比处理在 CK 基础上分别调整氮浓度(增加 15%、增加 10%、减少 15%、减少 10%)和钾浓度(增加 10%、

减少 10%),其他元素浓度不变(具体配比见表 2)。每个处理 3 盆,3 次重复。每次灌溉每盆施用相应处理的营养液 1 L,除营养液配方差异外,所有处理均进行相同的常规管理,定植第 28 天时收割。

表 1 山崎营养液大量元素配方
Table 1 Yamazaki nutrient solution major element formula

配方 Formulation	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	KNO ₃	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O
ρ /(mg·L ⁻¹)	236	404	57	123

表 2 营养液中不同 N、K 配比设置
Table 2 Different N and K ratio settings in nutrient solution (mg·L⁻¹)

处理 Treatment	ρ (N)	ρ (K)
CK	90.91	156.24
T1(N+0 K+10%)	90.91	171.86
T2(N+0 K-10%)	90.91	140.62
T3(N+15% K+10%)	104.55	171.86
T4(N+15% K+0)	104.55	156.24
T5(N+10% K-10%)	100.00	140.62
T6(N+10% K+10%)	100.00	171.86
T7(N+10% K+0)	100.00	156.24
T8(N+15% K-10%)	104.55	140.62
T9(N-15% K+10%)	77.27	171.86
T10(N-15% K+0)	77.27	156.24
T11(N-15% K-10%)	77.27	140.62
T12(N-10% K+10%)	81.82	171.86
T13(N-10% K+0)	81.82	156.24
T14(N-10% K-10%)	81.82	140.62

1.3 测定项目

1.3.1 韭菜植株生物量测定 定植第 28 天时,每处理选取长势良好、无病虫害的 15 株韭菜,统计叶片数,并分别测定株高、叶长(从心叶向外的第 3 片完全展开叶)、叶宽,收割后测定单株鲜质量,将韭菜放入保鲜袋自然晾干后称量单株干质量,每个处理 3 次重复。

1.3.2 韭菜植株光合指标的测定 定植第 28 天时,在 09:00-11:00,每个处理选取 15 株韭菜,采用便携式国产光合测定仪(IN-GH3,山东来因光电科技有限公司),测定韭菜叶片的净光合速率(P_n)、胞间二氧化碳浓度 C_i 、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)。

1.3.3 韭菜植株叶片叶绿素含量的测定 韭菜收割后,每个处理分别随机剪取韭菜 0.2 g 左右,将样品置于研钵内部,利用乙醇^[10]提取韭菜叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量,然后测量提取

液在特定波长下的光密度值,再根据公式计算出相应含量^[11]。每个处理 3 次重复。

1.3.4 韭菜植株品质的测定 韭菜收割后,分别采用 2,6-二氯靛酚滴定法^[12]、BCA 法^[13]以及苯酚-硫酸法^[13]测定叶片中的维生素 C、可溶性蛋白以及可溶性糖含量;采用酸碱消化法^[14]测定叶片粗纤维含量。

1.3.5 韭菜植株根系活力的测定 韭菜收割后,采用氯化三苯基四氮唑还原法^[15]测定韭菜的根系活力。

1.3.6 韭菜植株叶片丙酮酸和大蒜素含量的测定 参照 Liu 等^[16]方法,测定韭菜叶片中丙酮酸(EPY)含量;采用高效液相色谱法^[17]测定大蒜素含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2023 进行整理;采用 SPSS 23.0 进行单因素方差分析($P<0.05$);采用隶属函数值法对各指标进行综合分析;采用 Origin 2023 制图。

2 结果与分析

2.1 不同 N、K 配比对韭菜生长的影响

由表 3 可知,氮浓度对韭菜的株高、叶长、叶宽以及单株生物量均具有显著影响,钾浓度的单因素作用较弱,但氮与钾的交互效应对多个生长指标影响显著。整体趋势上,适当降低氮供应(N-15%)并搭配适宜钾水平的处理(T9、T10、T11)中,植株表现出较好的生长态势。尤其是 T11(N-15%、K-10%)

处理,叶长(37.18 cm)、叶宽(5.26 mm)、叶片数(6.32 个)、单株鲜质量(4.21 g)和干质量(0.35 g)均最高,较 CK 分别提高了 18.86%、27.36%、14.70%、26.43%和 52.17%,说明低氮(N-15%)配合适量钾(K-10%)能促进叶片发育与物质积累。相反,高氮处理(N+15%)(如 T3、T4),即使配合增钾,株高、叶长、叶片数和单株鲜质量均仍显著低于 CK,说明过量氮素对植株生长具有明显抑制效应。值得注意的是,在氮素不变的情况下,钾浓度加减 10%的调整(如 T1、T2)对植株生长影响较小,进一步说明单纯调整钾供应而不改变氮水平,调控效果有限。根据表 3 可知,适度降低氮、钾供应(如 N-15%、K-10%)不仅未抑制生长,反而显著促进了韭菜的形态发育与生物量积累,为优化韭菜养分管理提供了依据。

2.2 不同 N、K 配比对韭菜光合指标的影响

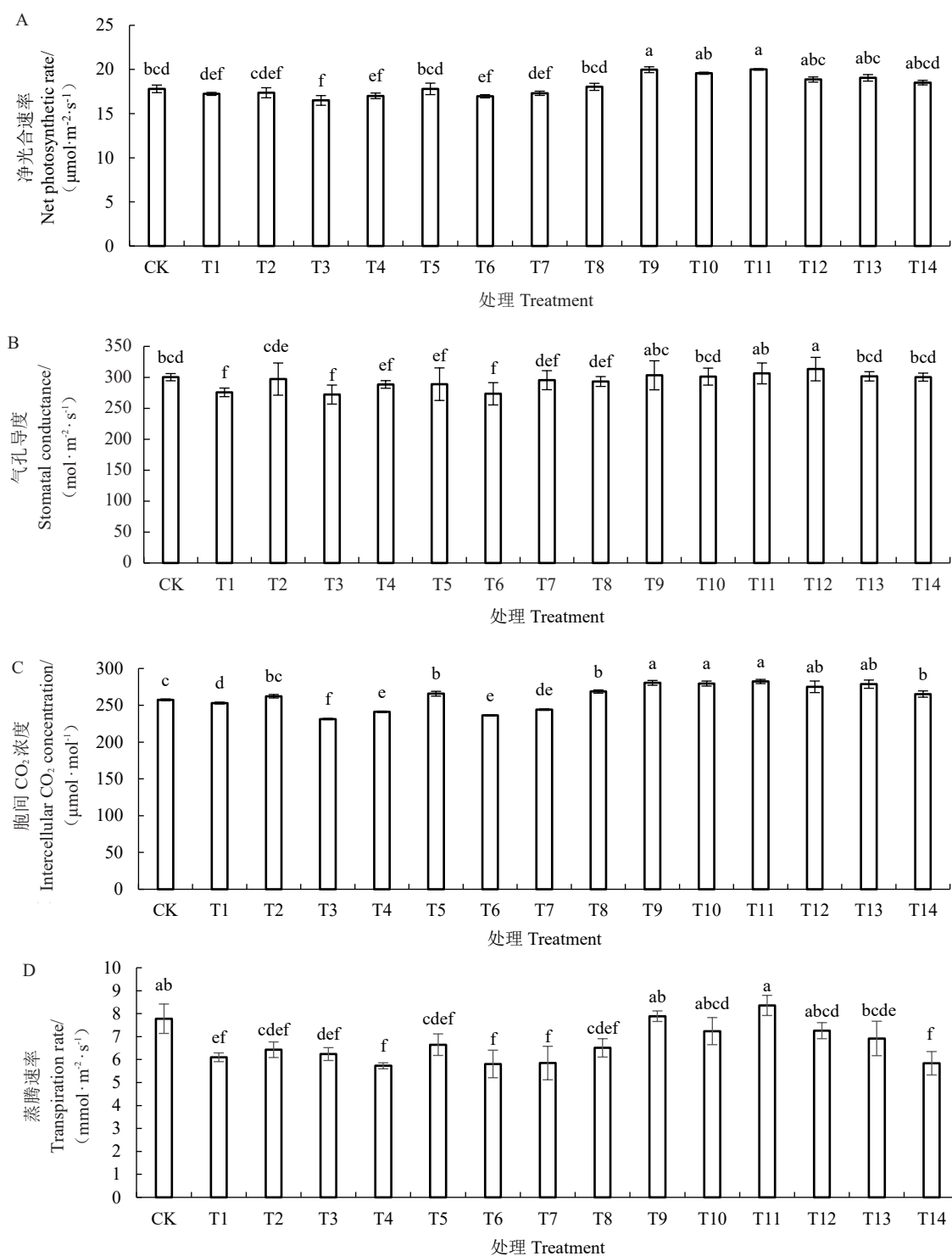
由图 1 可知,不同氮、钾水平下韭菜净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 浓度(C_i)具有差异,且氮与钾交互效应显著。具体而言,在中氮(N+10%)、高氮(N+15%)水平下,无论钾水平如何调整, P_n 与 G_s 普遍处于较低水平,光合能力受限;而在氮素减量处理,尤其是 K-10% 条件下, P_n 处于较高水平。与 CK 相比,T11 处理 P_n 显著提高了 12.36%, G_s 和 T_r 也有所提高,同时 C_i 较 CK 显著提高,表明气体交换和光合电子传递更为协

表 3 不同 N、K 配比对韭菜生长的影响
Table 3 Effects of different N and K ratios on the growth of Chinese leek

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/mm	叶片数 Leaf number	单株干质量 Dry mass per plant/g	单株鲜质量 Fresh mass per plant/g
CK	36.18±1.08 bc	31.28±0.90 bc	4.13±0.08 d	5.51±0.11 ab	0.23±0.05 cde	3.33±0.12 bcd
T1	34.74±0.09 c	29.69±1.20 de	3.07±0.12 f	4.67±0.15 de	0.19±0.02 f	3.02±0.11 de
T2	34.78±0.34 c	30.50±1.15 cde	3.93±0.11 d	4.28±0.09 ef	0.22±0.03 def	3.23±0.12 bcd
T3	27.20±0.36 f	27.67±0.72 f	2.63±0.13 g	5.08±0.32 cd	0.16±0.02 g	2.21±0.08 f
T4	32.12±0.58 e	27.81±1.03 f	3.53±0.11 e	4.17±0.08 f	0.18±0.04 fg	2.42±0.07 ef
T5	36.45±1.01 bc	31.34±1.21 bc	4.34±0.09 c	5.32±0.49 bc	0.25±0.07 bcd	3.45±0.13 abc
T6	29.67±0.35 e	28.34±1.20 f	3.16±0.16 f	4.15±0.17 f	0.17±0.04 fg	2.38±0.05 ef
T7	35.78±0.53 bc	31.46±1.26 bc	4.64±0.04 b	4.88±0.10 cd	0.26±0.07 bcd	3.52±0.03 ab
T8	35.89±0.58 bc	30.02±0.84 de	4.71±0.07 b	4.17±0.12 f	0.26±0.08 bcd	3.52±0.14 ab
T9	39.43±1.66 a	36.68±1.39 a	4.74±0.15 b	5.52±0.22 ab	0.30±0.03 ab	3.70±0.15 ab
T10	36.57±1.72 bc	33.96±0.86 b	4.83±0.09 b	4.85±0.14 cd	0.27±0.04 abc	3.61±0.12 ab
T11	39.04±1.51 ab	37.18±0.51 a	5.26±0.12 a	6.32±0.07 a	0.35±0.01 a	4.21±0.08 a
T12	35.68±1.51 bc	30.18±1.08 cde	4.72±0.10 b	4.86±0.23 bc	0.25±0.18 bcd	3.44±0.10 bc
T13	36.22±1.19 bc	30.46±1.46 cde	4.74±0.11 b	4.37±0.15 ef	0.26±0.03 abc	3.60±0.20 ab
T14	36.01±1.16 bc	28.73±1.59 ef	4.73±0.07 b	4.60±0.18 de	0.23±0.04 cde	3.21±0.16 bcd

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference between different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同 N、K 对比对韭菜光合指标的影响

Fig. 1 Effects of different N and K ratios on the photosynthetic indices of Chinese leek

调。深入比较不同配比还可发现,在低氮水平(N-15%)下,单纯增钾(T9)或稳钾(T10)虽也能提高光合指标,但均不及氮钾同步适度减量的T11处理。这说明过量养分供应(尤其是氮)可能引发气孔部分关闭或碳同化代谢的抑制,而氮、钾双因子

的适度协同减量,则有助于缓解这种抑制,优化叶片气体交换与内部水分利用状态,从而综合提高光合效率。综上,氮、钾适度减量能够缓解营养过剩可能带来的气孔关闭或代谢抑制,从而提高光合效率 and 水分利用效率。

2.3 不同N、K配比对韭菜叶绿素含量的影响

由表4可知,叶绿素合成受氮(N)、钾(K)供应水平及其交互作用的共同调控,其中氮是主要影响因素,而钾的作用相对较小。在低氮(N-15%)条件下,不同钾处理(T9、T10、T11)的总叶绿素含量均较CK显著增加,增幅均超过29.00%。T11处理(N-15%、K-10%)总叶绿素含量最高,较CK显著提高32.60%,均高于中氮(N+10%)、高氮(N+15%)处理。与CK相比,在正常供氮(N+0)条件下,增钾(T1)或减钾(T2)均导致总叶绿素含量下降,尤其T1较CK显著降低22.58%,表明单纯改变钾供应而不调节氮水平不利于叶绿素合成。而在高氮(N+

表4 不同N、K配比对韭菜叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of different N and K ratios on chlorophyll content of Chinese leek ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)

处理 Treatment	w(叶绿素 a) Chlorophyll a content	w(叶绿素 b) Chlorophyll b content	w(总叶绿素) Total chlorophyll content
CK	38.40±1.08 cd	15.00±0.20 c	53.50±1.30 cd
T1	27.81±1.14 e	13.51±0.19 d	41.42±1.31 e
T2	38.01±1.07 cd	13.72±0.17 d	51.85±1.24 cd
T3	38.11±1.01 cd	14.86±0.18 c	53.09±1.03 cd
T4	27.15±1.05 e	11.94±0.24 e	39.11±1.04 e
T5	37.24±1.06 cd	14.91±0.22 c	52.27±1.09 cd
T6	37.65±1.12 cd	13.47±0.21 d	51.23±0.88 d
T7	37.42±1.06 cd	12.09±0.20 e	49.63±1.00 d
T8	40.25±1.08 bc	15.45±0.24 bc	55.82±1.30 bc
T9	51.47±1.03 a	20.08±0.20 a	71.67±1.63 a
T10	50.76±1.10 a	18.63±0.21 ab	69.51±2.02 ab
T11	51.57±1.09 a	19.25±0.20 a	70.94±2.05 a
T12	40.42±1.08 bc	16.16±0.19 b	56.70±1.03 bc
T13	40.54±1.12 b	16.31±0.21 b	56.97±1.35 b
T14	40.16±1.09 bc	15.17±0.22 c	55.45±1.32 bc

15%)处理中,不同钾配比(T3、T8)的总叶绿素含量虽与CK相近或略有提高,但均低于低氮处理(N-15%),说明过量氮素可能引起养分失衡,抵消钾的正面效应,从而抑制叶绿素合成。T11处理叶绿素含量较高,同时净光合速率也较CK显著提高,说明合理调控氮钾配比可通过增加叶绿素含量、增强光合性能,为利用养分管理手段促进韭菜光合效率的提高提供理论支撑。

2.4 不同N、K配比对韭菜根系活力的影响

由图2可知,不同氮钾配比对韭菜根系活力影响显著。适度减氮减钾均能提高根系活力,而中氮(N+10%)、高氮(N+15%)或较低氮水平(N-10%)均不利于根系功能维持。其中,T11(N-15%、K-10%)处理根系活力最高,显著优于CK和其他大多数处理,表明该配比有利于增强根系呼吸代谢和养分吸收能力。T9和T10处理的根系活力次之,且均与T11差异不显著,但均显著高于高氮处理。T6处理(N+10%、K+10%)根系活力最低,低于CK,表明氮钾过量可能抑制根活力,降低其吸收和运输能力。适度减少氮、钾比例,能够维持根系较强的活力,促进植株对营养液的高效利用,为地上部生长和品质形成提供保障。

2.5 不同N、K配比对韭菜品质的影响

由表5可知,不同氮钾配比对韭菜品质影响显著。T8、T9、T11、T13和T14处理可溶性蛋白含量均显著高于CK,其中T8处理最高($3.20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),说明适度调整氮钾配比有利于蛋白质积累;T9、T10、T11、T12和T13处理维生素C含量均显著高于CK,T11处理最高($33.89 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$),较CK显著提高了15.55%,表明适当减氮减钾处理可促进维

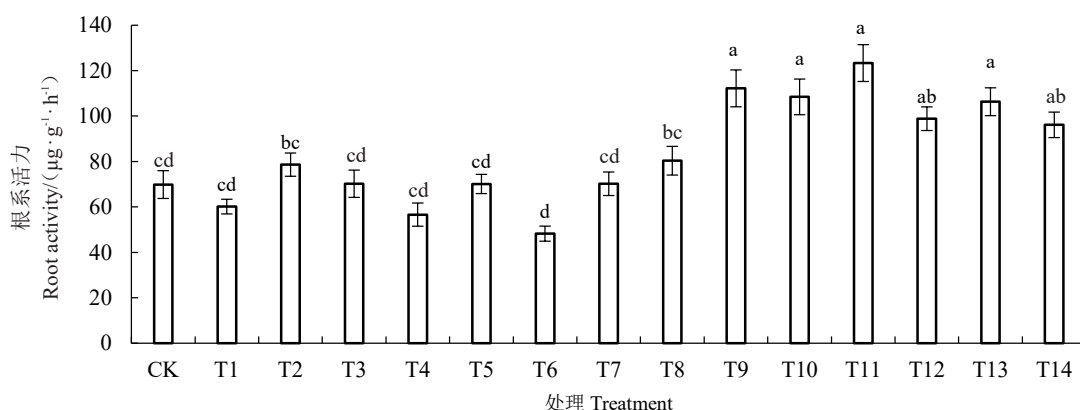


图2 不同N、K配比对韭菜根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different N and K ratios on root activity of Chinese leek

表 5 不同 N、K 对比对韭菜品质的影响
Table 5 Effects of different N and K ratios on the quality of Chinese leek

处理 Treatment	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·100 g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/%	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)
CK	2.25±0.02 d	29.33±1.34 c	26.19±1.98 fg	18.45±0.02 c
T1	2.17±0.01 e	23.46±0.96 e	25.42±1.16 g	16.85±0.03 h
T2	2.08±0.04 f	25.91±0.67 d	28.20±1.03 ef	18.41±0.07 c
T3	2.03±0.03 fg	17.82±0.30 g	23.72±1.99 g	17.13±0.02 g
T4	2.02±0.01 fg	20.11±0.31 f	24.59±2.35 g	17.21±0.03 f
T5	2.57±0.02 c	25.89±1.48 d	29.63±1.64 de	18.38±0.06 c
T6	1.95±0.03 g	18.60±0.39 g	25.21±1.89 g	17.88±0.04 e
T7	2.02±0.01 fg	24.39±1.47 de	28.88±0.88 e	18.36±0.02 cd
T8	3.20±0.02 a	32.15±2.26 b	30.48±1.19 d	18.54±0.04 c
T9	3.03±0.02 b	33.78±3.76 a	38.03±3.11 a	19.71±0.09 b
T10	2.71±0.03 c	33.75±4.32 a	36.28±1.06 ab	19.85±0.13 b
T11	2.86±0.01 b	33.89±2.13 a	39.90±2.83 a	20.03±0.10 a
T12	2.63±0.08 c	33.20±3.31 ab	35.20±0.94 b	19.63±0.11 b
T13	2.89±0.09 b	33.44±5.04 a	33.11±2.49 c	18.41±0.01 c
T14	2.96±0.11 b	31.33±3.15 bc	32.34±1.01 c	17.34±0.06 f

生素 C 合成。T11 处理可溶性糖含量最高,为 20.03 mg·g⁻¹,显著高于 CK,较 CK 显著提高了 8.56%,T9、T10 和 T12 处理含量也显著高于 CK。T11 处理粗纤维含量最高,达 39.90%,较 CK 显著提高 13.71 百分点;T9、T10 处理粗纤维含量次之,分别为 38.03%、36.28%;低氮(N-10%、N-15%)处理粗纤维含量均显著高于 CK。综上,与 CK 相比,适度降低氮钾供应(N-10%、N-15%)可显著提高韭菜可溶性蛋白、维生素 C、可溶性糖和粗纤维含量,而中氮(N+10%)、高氮(N+15%)水平下多数指标均低于 CK。T11 处理各营养指标均较 CK 显著增加,说明通过氮钾协同减量可优化碳氮代谢,在促进生长的同时促进营养物质积累,从而实现产量与品质的同步提高。

2.6 不同 N、K 对比对韭菜风味品质的影响

由图 3 可知,在定植后第 28 天,不同氮钾对比对韭菜叶片丙酮酸含量影响具有明显差异。T10、T11、T14 处理丙酮酸含量均较高,均显著高于 CK,分别较 CK 提高了 20.23%、21.20%、20.66%,但三者间差异均不显著。T11 处理丙酮酸含量(b)最高,为 11.32 μmol·g⁻¹,T3 处理含量最低,为 7.23 μmol·g⁻¹。韭菜的特有味道来自它所含有的大蒜素。不同氮钾对比对韭菜中大蒜素含量的影响如图 3 所示,T11 处理大蒜素含量最高(0.31%),显著高于 CK,T3 处理大蒜素含量最低(0.18%)。这表明氮钾之间存在协同效应,适度同步降低氮钾浓度(N-15%,K-10%)能有效地促进丙酮酸代谢通量,进而为大

蒜素这一重要的功能性风味物质的合成提供充足的前体物质。该结果验证了氮钾协同减量在改善韭菜风味与功能品质方面的积极作用。

2.7 韭菜品质的综合评价

隶属函数综合评价结果如表 6 所示,不同氮钾对比对韭菜综合性状影响较大。T11(N-15%、K-10%)处理的综合得分最高(0.951),在叶绿素含量、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、粗纤维含量、可溶性糖含量及生长相关指标方面均表现优异,体现出较强的整体优势;T9(0.895)和 T10(0.825)得分次之,主要在营养品质和光合特性方面表现突出。CK 处于中等水平,而高氮处理 T3(0.105)和 T4(0.076)综合得分较低,显示氮素过量对韭菜生长、光合及品质形成均产生不利影响。在相同低氮(N-15%)条件下,T11(K-10%)处理的综合评分高于 T9(K+10%)和 T10(K+0),说明降低钾供应在低氮环境中具有协同增效作用;而在中、高氮条件下,钾调节的效应相对较弱。高氮处理(N+15%)综合表现最差,T3 与 T4 处理得分仅为 0.105 和 0.076,且各指标普遍偏低,说明氮素过量会抑制生长、降低品质与光合能力。综上,在本试验条件下,T11 处理对韭菜生长、品质和光合特性综合影响力最高,具有作为韭菜基质栽培最优营养液方案的潜力。

3 讨论与结论

本研究结果表明,氮、钾对比对韭菜基质栽培的生长、光合特性及品质形成均具有显著影响。营

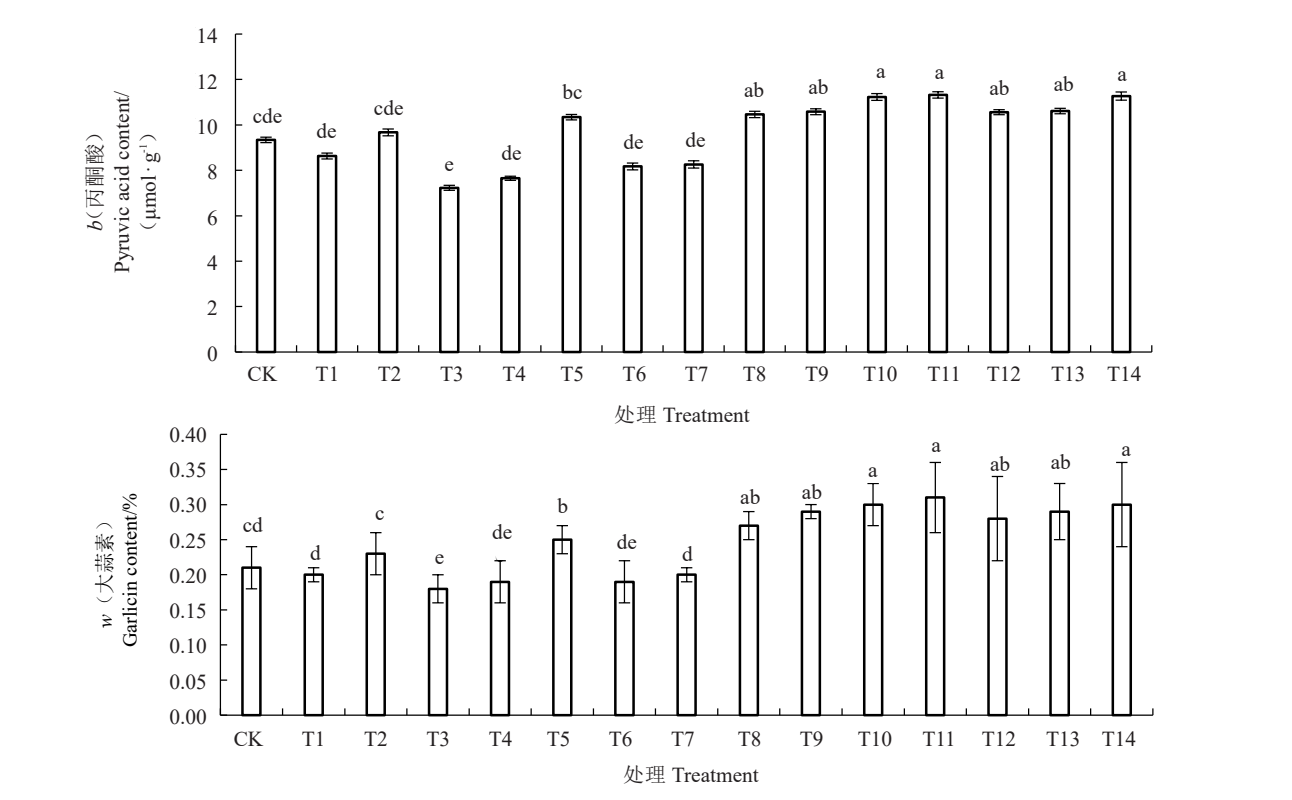


图3 不同N、K配比对韭菜叶片丙酮酸以及大蒜素含量的影响

Fig. 3 Effects of different N and K ratios on the content of pyruvic acid and garlicin in Chinese leek leaves

表6 不同N、K配比对韭菜品质的综合影响														
Table 6 Comprehensive effects of different N and K ratios on the quality of Chinese leek														
处理 Treat- ment	叶绿素 a 含量 Chloro- phyll a content	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	总叶绿 素含量 Total chloro- phyll content	可溶性 蛋白 含量 Soluble protein content	维生素 C 含量 Vitamin C content	粗纤 维含量 Crude fiber content	可溶性 糖含量 Soluble sugar content	大蒜素 含量 Garli- cin content	单株 干质量 Dry mass per plant	单株 鲜质量 Fresh mass per plant	净光 合速率 Net photosyn- thetic rate	丙酮 酸含量 Pyruvic acid content	隶属函 数值 Subor- dinative function value	排名 Rank
CK	0.030	0.034	0.029	0.030	0.054	0.016	0.042	0.024	0.029	0.034	0.032	0.033	0.384	9
T1	0.002	0.018	0.005	0.022	0.026	0.011	0.000	0.016	0.013	0.025	0.018	0.021	0.174	12
T2	0.029	0.020	0.025	0.013	0.038	0.029	0.041	0.040	0.025	0.031	0.021	0.043	0.353	10
T3	0.030	0.033	0.028	0.008	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	14
T4	0.000	0.000	0.000	0.007	0.011	0.006	0.009	0.008	0.008	0.006	0.013	0.009	0.076	15
T5	0.027	0.033	0.026	0.062	0.038	0.039	0.040	0.055	0.038	0.038	0.032	0.052	0.476	8
T6	0.028	0.017	0.024	0.000	0.004	0.010	0.027	0.008	0.004	0.005	0.011	0.012	0.150	13
T7	0.028	0.002	0.021	0.007	0.031	0.034	0.040	0.016	0.042	0.040	0.020	0.016	0.292	11
T8	0.035	0.039	0.033	0.124	0.067	0.044	0.044	0.071	0.042	0.040	0.038	0.052	0.626	6
T9	0.066	0.091	0.065	0.107	0.074	0.094	0.075	0.087	0.058	0.045	0.085	0.054	0.895	2
T10	0.064	0.075	0.061	0.075	0.074	0.082	0.078	0.095	0.046	0.042	0.075	0.062	0.825	3
T11	0.066	0.082	0.064	0.090	0.075	0.106	0.083	0.103	0.079	0.061	0.086	0.062	0.951	1
T12	0.036	0.047	0.035	0.068	0.072	0.075	0.073	0.079	0.038	0.037	0.058	0.050	0.663	5
T13	0.036	0.049	0.036	0.093	0.073	0.061	0.041	0.087	0.042	0.042	0.063	0.051	0.669	4
T14	0.035	0.036	0.033	0.100	0.063	0.056	0.013	0.095	0.029	0.030	0.049	0.067	0.604	7

养液中氮、钾浓度的不同,对韭菜产生的影响不同。单株鲜干质量均显著高于高氮处理(T3、T4、T8),表明过量氮肥对韭菜生长具有抑制作用。在水稻、玉

米、棉花等作物上的研究均表明适宜浓度氮钾配比对作物生长和发育至关重要^[18-21]。张璐^[22]和杜红艳等^[23]在韭菜水培试验中发现过高氮素浓度对产量提升作用有限,进一步支持了本研究结果。在光合特性方面,与CK相比,适度减氮减钾(T11)显著提高了净光合速率和叶绿素含量,表明合理养分供应能提高光能利用效率,避免高氮造成的光合作用受限,该结果与李静等^[24]关于氮钾合理配施促进叶绿素合成和光合性能提高的结论一致。

在营养品质方面,与CK相比,适度降低氮、钾浓度(T11)可显著增加可溶性蛋白、维生素C、可溶性糖和粗纤维含量,提高韭菜的营养价值与膳食品质。王丽雪^[25]和季延海等^[26]也发现营养液浓度过高或过低均会抑制韭菜品质提升,与本研究结果一致。风味物质方面,T10、T11和T14处理丙酮酸和大蒜素含量均较CK显著提高,其中T11处理大蒜素含量最高(0.31%)。这一结果与孔灵君^[27]关于大葱丙酮酸积累以及张烨达等^[28]关于氮硫互作下韭菜风味形成的研究结果相一致,进一步说明适度低氮条件更利于辛辣物质和功能物质的形成。综上,氮钾减量不仅维持甚至提高了韭菜生长指标,还显著改善了品质和风味特性,验证了优化营养液氮钾配比在韭菜绿色生产中的重要作用。

综上,不同氮钾比对韭菜的生长、光合特性、营养品质和风味形成均有显著影响。T11(N-15%、K-10%)处理综合表现最佳,在韭菜生长指标、光合效率、品质及大蒜素含量等指标上均优于对照,综合评价得分最高。T9处理表现次之,但与T11处理在产量(单株干鲜质量)和品质方面差异均不显著。从肥料利用效率和绿色发展的角度看,T11配方更具推广价值。本研究中的该方案为叶菜类作物的精准施肥与营养液管理提供了理论依据和实践参考。

参考文献

- [1] 李纪军,李艺潇,马培芳,等.韭菜新品种棚宝的选育[J].中国蔬菜,2021(7):98-100.
- [2] 尹守恒,李志强,张明,等.优质韭菜评价标准和栽培技术要点[J].农业科技通讯,2017(12):319-322.
- [3] 王志伟,郭晓冬.化学氮肥施用技术对温室韭菜硝酸盐含量影响[J].安徽农学通报,2006,12(10):68-69.
- [4] 王志刚,徐伟慧,郭天文.施氮对大棚韭菜产量和品质的影响[J].北方园艺,2010(5):69-71.
- [5] 王子臣,王鑫,张岳芳,等.沼液COD对黄瓜幼苗生长及土壤环境因子的影响[J].中国农学通报,2019,35(4):15-22.
- [6] Gasparikova O, Ciamporova M, Mistrik L, et al. Recent advances of plant root structure and function[J]. Annals of Botany, 2001,90(2):299.
- [7] 王孟珂,国颖,汪贵斌,等.不同生境对银杏雌、雄株嫁接苗叶中聚戊烯醇等成分积累的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(1):121-128.
- [8] 沈鑫健.氯化钾对脐橙园树体和土壤的影响及不同柑橘砧木对钾的吸收差异研究[D].重庆:西南大学,2021.
- [9] 郭浩赞,赵子璇,孟宏宇,等.植物工厂不同营养液浓度对油菜芽苗菜生长、光合性能和营养品质的影响[J].中国农业大学学报,2024,29(11):83-93.
- [10] 高伟,席克勇,尹军良,等.外源SiNPs对盐胁迫下生姜幼苗生长和生理特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(9):109-118.
- [11] 朱景乐,杜红岩,李芳东,等.杜仲叶片光合色素含量测定方法筛选[J].河南农业大学学报,2013,47(5):557-561.
- [12] 李慧婧,苏畅,马锐.果蔬维生素C的提取剂条件及含量比较[J].食品安全导刊,2023(22):49-52.
- [13] 石雪,唐明华.蒽酮/苯酚-硫酸法测定紫皮石斛多糖的条件[J].云南民族大学学报(自然科学版),2025,34(6):676-687.
- [14] 胡庆兰.三种测定蛋壳中钙含量方法的比较[J].湖北第二师范学院学报,2014,31(8):4-7.
- [15] 王艳会,孙昊蔚,卫朝辉,等.活化水对小麦生长及根系活力的影响[J].华北农学报,2021,36(1):124-133.
- [16] Liu N, Tong J, Hu M M, et al. Transcriptome landscapes of multiple tissues highlight the genes involved in the flavor metabolic pathway in Chinese chive (*Allium tuberosum*) [J]. Genomics, 2021,113(4):2145-2157.
- [17] 李叙勇,史玉宝,明江波.高效液相色谱法测定大蒜及其制品中的大蒜素[J].分析测试学报,1997,16(6):50-51.
- [18] Zhang L, Yan M F, Li H B, et al. Effects of zinc fertilizer on maize yield and water-use efficiency under different soil water conditions[J]. Field Crops Research. 2020,248(1):107718.
- [19] 李志欣,胡明明,唐源,等.氮钾肥适宜配比促进机直播水稻干物质和养分的积累转运及增产[J].植物营养与肥料学报,2025,31(2):267-281.
- [20] 张旭.氮钾对鲜食玉米生长发育及其产量效应的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2021.
- [21] 李林洋,夏淑洁,张润花,等.氮钾互作对长江流域棉花产量和氮肥利用效率的影响及适宜施肥水平研究[J].中国土壤与肥料,2022(1):40-46.
- [22] 张璐.水培韭菜营养液筛选及栽培模式优化[D].河北邯郸:河北工程大学,2022.
- [23] 杜红艳,于平彬,季延海,等.不同氮素浓度对水培韭菜生长发育与品质的影响[J].中国蔬菜,2015(5):45-48.
- [24] 李静,周杨果,陆志峰,等.氮钾配施对冬油菜角果皮光合作用及光合器官氮分配的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(5):869-879.
- [25] 王丽雪.氮素形态比对设施基质栽培韭菜生长、品质及产量的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2021.
- [26] 季延海,武占会,于平彬,等.不同营养液浓度对水培韭菜生长适应性的影响[J].中国蔬菜,2017(11):53-56.
- [27] 孔灵君.氮硫对大葱生长及产量品质形成生理研究[D].山东泰安:山东农业大学,2013.
- [28] 张烨达,佟静,武占会,等.氮硫互作对水培韭菜生长、营养及风味品质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(5):96-103.