



不同氮磷钾配比对‘北冰红’光合性能及产量和品质的影响

潘越¹,王季姣^{1,2},虎海防¹,李树德³

(1.新疆林科院 园林绿化研究所,乌鲁木齐 830000;2.新疆农业大学 林学与风景园林学院,
乌鲁木齐 830052;3.新疆尼雅葡萄酒有限公司,新疆昌吉 832200)

摘要 以新疆 5 a 的山葡萄‘北冰红’为研究对象,探讨氮、磷、钾不同施肥量对‘北冰红’光合特性、产量和品质的影响,为山葡萄在新疆的发展提供合理的施肥依据。采取“3414”施肥效应试验,测定氮、磷、钾不同施肥配比条件对果实成熟期‘北冰红’叶片光合特性、光合-光响应曲线(净光合速率(P_n)-光强(PAR)曲线)、产量和果汁基础理化性状,采用不同模型(直角双曲线模型(RH模型)、非直角双曲线模型(NRH模型)、指数模型(EX模型)、直角双曲线修正模型(MRH模型))对不同氮、磷、钾肥配比条件下的 P_n -PAR 曲线进行拟合,并分析光合参数(P_n 、 T_r 、 C_i 、 WUE)对产量和品质的响应。MRH模型 P_n -PAR 曲线拟合效果最佳,求解出的 AQY 、 LCP 和 R_d 、 P_{nmax} 和 LSP 最接近于实测值。结果表明,通过对‘北冰红’产量分析得出 $N_2P_2K_3$ 和 $N_1P_2K_2$ 的施肥配比,较 $N_0P_0K_0$ 配比单株产量分别提高了 282.38% 和 234.43%;并通过果汁理化性状得出 $N_2P_2K_3$ 较 $N_0P_0K_0$ 在可溶性固形物、总酚、维生素 C 和总糖含量分别提高 32.85%、30.77%、17.87% 和 34.13%; $N_1P_2K_2$ 较 $N_0P_0K_0$ 总酸降低 72.61%,花色苷含量降低 20.69%。综合比较分析,N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥(纯量)分别为 93.568 kg/hm²、41.364 kg/hm² 和 109.355 kg/hm² 时,能够提高‘北冰红’成熟期的光合特性、产量及品质。

关键词 北冰红;光合特性;产量;品质

新疆作为中国最早栽培葡萄的地区和葡萄酒的发源地,自然条件得天独厚,种植的酿酒葡萄品质优良^[1],是中国酿酒葡萄种植和葡萄酒酿造大区^[2]。近五十年来,新疆葡萄酒产业先后经历了规模化发展—四大产区形成—工业化量产和高端休闲酒庄、酒庄同步高速发展—大规模回落—缓慢优化调整的趋势。究其原因,一方面是酿酒葡萄品种多为欧亚种葡萄(*Vitis vinifera*),同质化严重,无法满足市场多元化产品需求^[3];另一方面是新疆葡萄南北疆越冬均需埋土防寒,造成生产成本居高不下,同时埋土开墩过程中也不同程度的伤害树体,影响下一年果树正常生产能力的全面发挥,也不同程度的降低了我区葡萄产业发展的市场综合竞争力^[4]。山葡萄(*Vitis amurensis* Rupr.)作为葡萄属中最抗寒的一个种^[5],冬季根系能耐 -16 ~ -18 °C 的低温,地上部分能耐 -40 °C 低温,2019 年由新疆林科院抗寒葡萄研

究团队陆续引种至新疆,经区域栽培试验,山葡萄在环塔盆地生态区域可直立安全越冬^[6],节省生产成本支出,提高果农收益,极具推广价值。

合理施肥是生产中用于调节果树生长发育与产量的重要措施之一^[7],谭博等^[8]在分析不同施肥处理对全球红葡萄光合日变化、产量和品质的影响是发现,施肥能有效提高全球红葡萄光合效率及果实品质。黄婉莉等^[9]在研究不同氮磷钾配比对番石榴生长发育及果实品质影响时发现,在保证氮肥施用量的基础上,提高钾肥、降低磷肥的施肥处理能有效促进番石榴的产量,同时对果实可溶性糖、可溶性固形物等品质指标具有一定提升作用。由此可得出,均衡施肥对提高作物产量和改善果实品质尤为重要。由于山葡萄在疆栽培时间较短,缺乏在新疆干旱环境下完善的生产栽培技术,关于施肥对山葡萄产量品质的影响尚不完善。基于此,本试验以 5 a 山葡萄‘北冰红’为

收稿日期:2023-12-12 修回日期:2024-03-10

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B02045-2-3);自治区“三农”骨干人才培养项目(2022SNGGHT084)。

第一作者:潘越,男,副研究员,研究方向为林木遗传育种和果树栽培学。E-mail:18690187637@163.com

通信作者:李树德,男,本科,研究方向为酿酒葡萄栽培技术推广。E-mail:37228844@qq.com

研究对象,测量‘北冰红’光合和果实产量品质等指标,探究氮磷钾不同施肥量对‘北冰红’产量及果实品质的影响,提出恰当的施肥参数,为新疆山葡萄丰产栽培技术中的施肥技术提供指导。

1 材料与方 法

试验地位于新疆阿克苏地区温宿县境内的佳木果树学长期科研基地,地理位置北纬 $41^{\circ}15'$,东经 $80^{\circ}32'$,属温带干旱气候,年均降水量不足 100 mm;年均气温 10.1°C ,年平均降水量 65.4 mm,年平均无霜期 185 d。

供试的品种为 5 a ‘北冰红’,砧木为‘贝达’。南北行向,株行距为 $1\text{ m}\times 3.5\text{ m}$,沿南北行向定植,“厂”字树形,直立叶幕,田间水肥正常管理,各样株长势一致。

2022 年在开展施肥试验前,采集土壤样品进行分析,结果表明,园区土壤为土层深厚的沙壤土,0~40 cm 土层土壤基础理化性状的速度 N、速度 P、速度 K、有机质含量分别为 78.06、19.37、208.22、7650 mg/kg, pH 为 7.812,电导率(EC)为 $180\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 。按照全国第 3 次土壤普查养分分级标准,园内土壤速度 N 为 4 级、速度 P 为 3 级、

速度 K 为 2 级,土壤有机质含量较低,综合土壤养分条件中等。

采取“3414”最优回归试验设计(表 1),设置 N、P、K 3 个肥料因素,4 个水平分别为 0(不施肥)、1(常规施肥量 50%)、2(常规施肥量)、3(常规施肥量 150%),共计 14 组处理($T_i, i=1, 2, 3, \dots, 14$),每组处理划定 3 个重复小区,随机排序,每个小区选取 5 株树,共计 210 株。供试株的平均地径、新梢第 4 节平均基径分别为 $(11.97\pm 1.12)\text{mm}$ 、 $(7.10\pm 0.82)\text{mm}$ 。氮选用质量分数达 46.30%的 $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ 结晶,上海同瑞生物科技有限公司生产;磷选用有效磷 $(\text{P}_2\text{O}_5)\geq 16\%$ 的过磷酸钙,供应商为湖北红山化工有限公司;钾选用 $\text{K}_2\text{O}\geq 50\%$ 的硫酸钾,供应商为中农集团控股股份有限公司。

按照 2022 年施肥试验量,每株‘北冰红’N、 P_2O_5 和 K_2O 的常规施肥量(纯量)分别为 0.024、0.020 和 0.030 kg,于 2022 年 4 月 4 日‘北冰红’萌芽前一次性施入,施肥方式为两株葡萄间挖长、宽、深均为 40 cm 的坑,将肥料用千分之一电子天平称量后混合,一次性施入坑内,施肥后立即浇水。

表 1 大田试验设计

Table 1 Field trial design

序号 Serial number	处理 Dispose	2022 年单株施肥量纯量/kg Net fertilizer application per plant in 2022			2022 年单株施肥量/kg Fertilizer application rate per plant in 2022		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1	$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	$\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$	0.000	0.020	0.030	0.000	0.125	0.000
3	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$	0.012	0.020	0.030	0.026	0.125	0.052
4	$\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$	0.024	0.000	0.030	0.052	0.000	0.104
5	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$	0.024	0.010	0.030	0.052	0.063	0.104
6	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	0.024	0.020	0.030	0.052	0.125	0.104
7	$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	0.024	0.030	0.030	0.052	0.188	0.104
8	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$	0.024	0.020	0.000	0.052	0.125	0.104
9	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$	0.024	0.020	0.015	0.052	0.125	0.104
10	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	0.024	0.020	0.045	0.052	0.125	0.104
11	$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	0.036	0.020	0.030	0.078	0.125	0.156
12	$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$	0.012	0.010	0.030	0.026	0.063	0.052
13	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$	0.012	0.020	0.015	0.026	0.125	0.052
14	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$	0.024	0.010	0.015	0.052	0.063	0.104

1.1 测量方法

1.1.1 光响应曲线 试验于 8 月 19 日(果实成熟期),选择晴朗天气,测量时间为 9:00—11:00,

挑选基部向上第 4~6 片生长良好、无病虫害的功能叶,采用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合仪,测量结果取平均值。测量前将 PAR

设置为 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 叶片诱导时间为 $15\sim 20\ \text{min}$, 利用红蓝光源系统测量不同 PAR 所对应的 P_n , PAR 梯度为 $2\ 000$ 、 $1\ 700$ 、 $1\ 500$ 、 $1\ 200$ 、 $1\ 000$ 、 800 、 500 、 300 、 200 、 150 、 80 、 50 、 20 、 $0\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 由最高 PAR 开始测定, 每个梯度测定时间为 $180\ \text{s}$, 红蓝光比例为 $3:1$ (红光 $650\ \text{nm}$ 、蓝光 $450\ \text{nm}$)。测定时, CO_2 浓度为

$(375 \pm 10)\ \mu\text{mol}/\text{mol}$, 叶室温度控制在 $(25 \pm 0.5)\ ^\circ\text{C}$, 空气流速为 $(400 \pm 1)\ \text{mmol}/\text{s}$ 。

本研究采取直角双曲线模型 (RH 模型)、非直角双曲线模型 (NRH 模型)、指数函数模型 (EX 模型) 和直角双曲线修正模型 (MRH 模型) 绘制 P_n -PAR 曲线, 4 种模型的拟合方程见表 2。

表 2 4 种光响应模型计算公式

Table 2 Four formulas for calculation of light response model

模型 Model	公式 Formula	参考文献 Reference
直角双曲线模型 RH	$P_n(I) = \frac{aIP_{n\text{max}}}{aI + P_{n\text{max}}} - R_{\text{day}} \quad (1)$	[10]
非直角双曲线模型 NRH	$P_n(I) = \frac{aI + P_{n\text{max}} - \sqrt{(aIP_{n\text{max}})^2 - 4kaIP_{n\text{max}}}}{2\theta} - R_{\text{day}} \quad (2)$	[11]
直角双曲线修正模型 MRH	$P_n(I) = a \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I} - R_{\text{day}} \quad (3)$	[12]
指数函数模型 EX	$P_n(I) = P_{n\text{max}}(1 - e^{-aI/P_{n\text{max}}}) - R_{\text{day}} \quad (4)$	[13]

注: 式(1) I 为光合有效辐射 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], α 为初始量子效率, R_{day} 是暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; 式(2) θ 为反应曲线弯曲程度的光响应曲线角, $0 \leq \theta \leq 1$; 式(3) 中, β 、 γ 为独立于 I 的常数。

Note: Eq. (1) I is photosynthetically active radiation [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], α is the initial quantum efficiency, and R_{day} is the dark respiration rate [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; Eq. (2) θ is the angle of the light response curve of the degree of curvature of the reaction curve, $0 \leq \theta \leq 1$, and Eq. (3), β and γ are constants independent of I .

按照实测数据绘制不同施肥量 P_n -PAR 曲线时, 利用弱光环境 ($\text{PAR} \leq 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 下的实测数据进行回归分析, 即可得出初始量子效率 α 、光补偿点 LCP 和暗呼吸速率 R_{day} , 最大净光合速率 $P_{n\text{max}}$ 及光饱和点 LSP 由实测数据走势估算得出^[14]。

1.1.2 光合特性 试验于 8 月 22 日 (果实成熟期) 进行, 以测定光响应曲线的‘北冰红’叶片为样本, 选在 $9:00\sim 11:00$, 使用 Li-6400 便携式光合仪, 测定不同处理的净光合速率 P_n 、蒸腾速率 T_r 、胞间 CO_2 浓度 C_i 、气孔导度 G_s , 瞬时水分利用效率 WUE_i 是 P_n 与 T_r 的比值。本试验取上述 4 个果实生长发育阶段光合数据的平均值进行分析。

1.1.3 果实品质 2022 年 10 月 20 日 (果实成熟期), 统计每个小区山葡萄的果穗数, 每株固定调查株随机摘取 15 穗具有代表性的‘北冰红’葡萄, 称取平均值, 对不同处理随机选取 600 粒, 带皮压榨成汁, 用纱布过滤保存, 测量果汁可溶性固形物^[15]、 pH ^[16]、总酸^[17]、总酚^[18]、维生素 C^[19]、总糖^[20] 和花色苷^[21] 等指标。

$$\text{小区总产量} = \text{总穗数} \times \text{果穗质量} \quad (5)$$

1.2 数据统计

不同 N、P、K 配比对‘北冰红’产量及果汁品

质影响采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 的 Duncan’s 法进行检验^[22], 数据分析采取 SPSS 和 Excel 软件完成, 采用 Origin 软件做图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对‘北冰红’ P_n -PAR 曲线的影响

不同氮磷钾肥配比对‘北冰红’实测 P_n -PAR 曲线的影响如图 1 所示。当 $\text{PAR} \leq 300\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 伴随 PAR 的增加急速上升, 此后 P_n 伴随 PAR 的增加, 上升幅度趋于平缓, 直至 $\text{PAR} \geq 1\ 700\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后, 各别处理 P_n 略有降低。在磷、钾同一水平下, 随着氮肥施用量的增加, P_n 呈“先升后降”的趋势, 并在施低氮肥 ($\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$) P_n 最高, 说明低氮可提高‘北冰红’叶片的净光合速率; 在氮、钾同一施用量下, 施高磷肥 ($\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$) P_n 最高, 不施磷 ($\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$) 的 P_n 最低, 且显著低于其他处理, 说明增施磷肥能提升‘北冰红’光合效率; 在氮、磷同一施用量下, 伴随钾肥施用量的增加, P_n 呈“逐渐升高”的趋势, 最终在 1.5 倍施钾量 ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$) P_n 最高, 增施钾肥有益于叶片光合作用的提高。14 组处理中, $\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$ 处理 P_n 值最高, 其次是 $\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$ 处理。

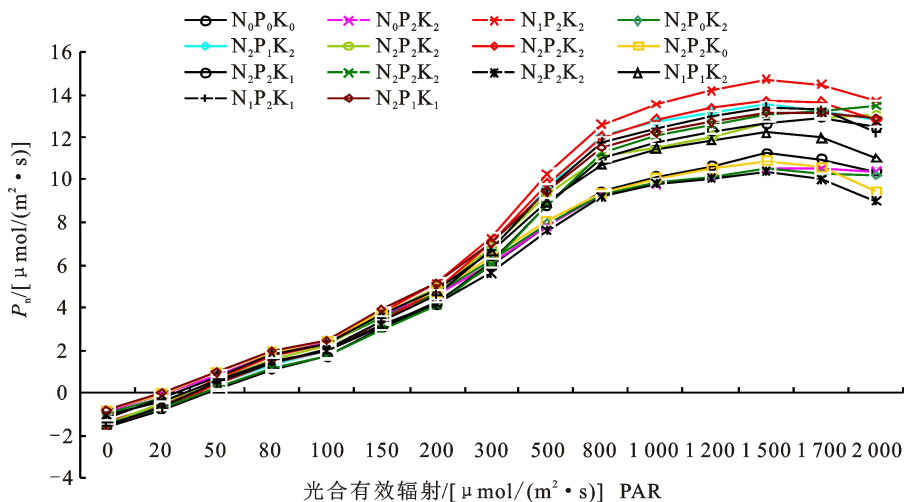


图 1 不同施肥处理对‘北冰红’净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on the net photosynthetic rate of ‘Beibinghong’

不同氮磷钾肥配比对‘北冰红’4种光响应模型 P_n -PAR 曲线的影响见图 2。图 2 可以看出,不同模型对‘北冰红’ P_n -PAR 曲线的拟合效果存在显著差异。PAR $\leq 300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,曲线变化基本一致, P_n 伴随 PAR 的增加而升高;在 PAR 持续增加的过程中,RH、RH 和 EX 模型所拟合的 P_n -PAR 曲线为一条无极大值的渐近线,MRH 模型所拟合的曲线在达到 $P_{n\text{max}}$ 后呈非线性的下降趋势。4 种拟合模型对不同氮磷钾施肥量的适应性存在较大差异,其中 RH 模型所拟合的 P_n -PAR 曲线与实测曲线差异最大,尤其无法较好的拟合不同磷钾肥配比条件下的 P_n -PAR 曲线,MRH 模型适用于不同氮磷钾肥配比下 P_n -PAR 曲线的拟合。

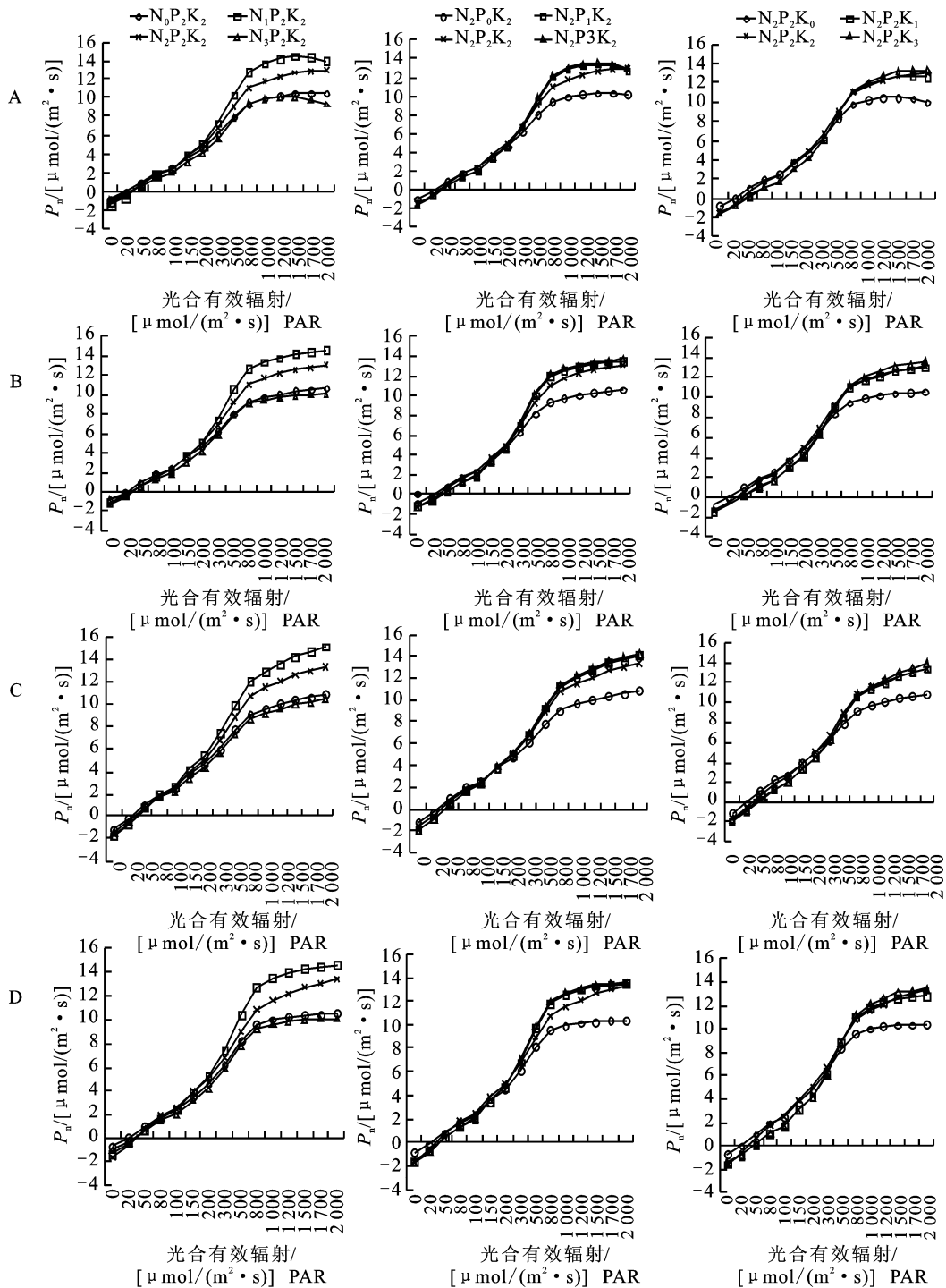
2.2 不同施肥处理对‘北冰红’光响应参数的影响

14 组施肥处理对‘北冰红’4 种光响应模型拟合参数与实测值的比较结果见表 3。4 个模型中,RH 模型的 R^2 均值最小,拟合精度最低;NRH 和 EX 模型所拟合的 R^2 次之;MRH 模型所拟合的 R^2 平均值最高 ($R^2 > 0.999$),拟合效果最优。 AQY 、 LCP 和 R_d 3 个参数反映‘北冰红’在弱光环境中的光能利用水平, $P_{n\text{max}}$ 和 LSP 则反映在强光环境下的光利用水平^[23],在磷、钾同一施肥量下,常规施氮量 ($N_2P_2K_2$) 的 $P_{n\text{max}}$ 和 LSP 均高于其他处理,说明常规施氮量可以增加‘北冰红’在强光环境下的适应力,不施氮 ($N_0P_2K_2$)

AQY 、 LCP 和 R_d 最低,说明不施氮肥可减少叶片的呼吸消耗,以适应暗光环境;在氮、钾同一施肥量下,高磷肥 ($N_2P_3K_2$) 的 $P_{n\text{max}}$ 最高,常规施磷量 ($N_2P_2K_2$) 的 LSP 最高,不施磷 ($N_2P_0K_2$) 的 AQY 、 LCP 和 R_d 最低;在氮、磷同一施肥量下,高钾肥 ($N_2P_2K_3$) 的 $P_{n\text{max}}$ 最高,不施钾 ($N_2P_2K_0$) 的 AQY 、 LCP 和 R_d 最低,说明在光照充裕的地区,增施磷、钾肥有助于‘北冰红’制造更多的碳水化合物,帮助枝条储备营养物质。

2.3 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’光合作用的影响

图 3 可知,伴随氮、磷、钾不同施肥量的施入,‘北冰红’叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 和 WUE 均有显著差异 ($P < 0.05$)。在磷、钾同一施肥量下,不施氮 ($N_0P_2K_2$)、施高氮 ($N_3P_2K_2$) 和施低氮 ($N_1P_2K_2$)、常规施氮量 ($N_2P_2K_2$) 在 P_n 、 T_r 上差异显著,说明常规施氮量和施低氮有助于提升叶片净光合速率及蒸腾速率;在氮、钾同一施肥量下,不同施磷量叶片 P_n 差异不显著,施低磷 ($N_2P_1K_2$) T_r 显著低于其他处理, WUE 则显著高于其他处理,说明施低磷肥量能减少叶片水分蒸腾散失,提升水分利用效率;在磷、钾同一施肥量下,不施钾肥 ($N_2P_2K_0$) 和低钾肥 ($N_2P_2K_1$) P_n 显著低于常规施钾量 ($N_2P_2K_2$) 和施高钾 ($N_2P_2K_3$),同时前 2 种施肥处理的 C_i 均低于后者,不施钾肥 ($N_2P_2K_0$) WUE 最高,显著高于其他处理。



A. 直角双曲线修正模型; B. 非直角双曲线模型; C. 直角双曲线模型; D. 指数模型

A. MRH model; B. NRH model; C. RH model; D. EX model

图 2 不同氮磷钾配比对‘北冰红’4种光响应模型 P_n -PAR 曲线的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium ratios on P_n -PAR curves of four photo response models of ‘Beibinghong’

2.4 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’果实品质的影响

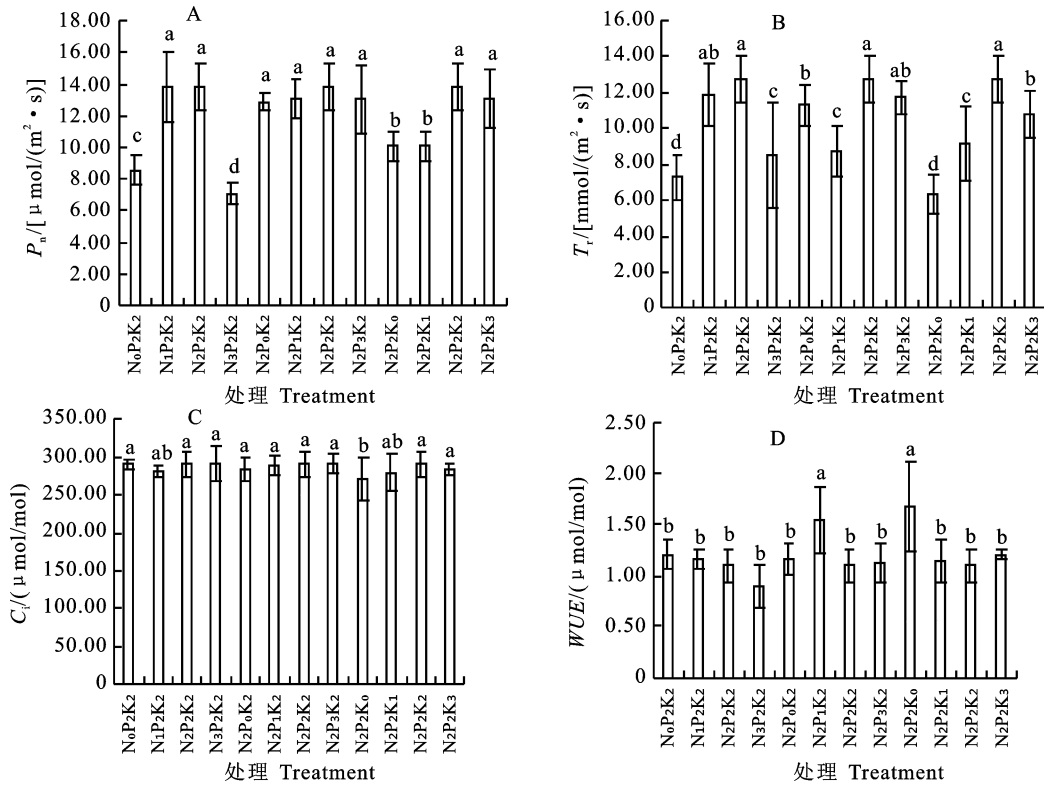
从表 4 能够看出,不同氮、磷、钾施肥量对‘北冰红’果汁的可溶性固形物、pH、总酸、总酚、维生

素 C、总糖和花色苷有不同程度的影响,其中,对可溶性固形物、pH、总酸、总糖和花色苷影响显著。不同氮磷钾施肥量下‘北冰红’的可溶性固形物变幅为 20.37%~27.66%,最大可溶性固形物

表 3 不同施肥处理对‘北冰红’4 种光响应模型拟合参数与实测值的比较

Table 3 Comparison of fitting parameters and measured values of four light response models of ‘Beibinghong’ under different fertilization treatments

经验参数 Empirical model	光响应参数 Photosynthetic parameter	$N_0P_0K_0$	$N_0P_2K_2$	$N_1P_2K_2$	$N_2P_0K_2$	$N_2P_1K_2$	$N_2P_2K_2$	$N_2P_3K_2$	
实测值 Measured value	P_{nmax}	11.268 1	10.534 3	14.728 7	10.525 2	13.522 5	13.061 5	13.754 1	
	LCP	40.526 4	22.458 1	34.098 2	24.870 6	40.780 3	35.230 6	41.883 5	
	R_d	0.480 1	0.369 3	0.634 0	0.536 4	0.808 7	0.967 2	0.993 3	
	AQY	0.028 3	0.027 7	0.032 3	0.028 0	0.030 2	0.031 4	0.031 6	
RH 模型 Rectangular hyperbola model	AQY	0.051 0	0.049 9	0.056 6	0.052 4	0.055 0	0.054 0	0.057 3	
	P_{nmax}	14.985 4	13.658 8	19.905 5	13.628 1	18.750 5	17.431 6	18.966 1	
	R_d	1.697 2	1.118 8	1.774 1	1.242 7	1.938 4	1.651 1	2.023 3	
	LCP	37.533 6	24.431 3	34.431 4	26.110 1	39.317 0	33.804 6	39.525 9	
NRH 模型 Non-rectangular hyperbola model	R^2	0.993 5	0.997 4	0.990 3	0.994 8	0.988 0	0.998 0	0.988 2	
	AQY	0.035 8	0.037 6	0.035 1	0.035 6	0.031 5	0.040 8	0.033 9	
	P_{nmax}	13.428 7	12.569 1	16.716 0	12.187 0	15.341 8	15.836 1	15.750 5	
	R_d	1.353 9	0.874 8	1.148 6	0.900 4	1.229 4	1.358 1	1.360 1	
EX 模型 Exponential model	LCP	39.375 0	24.111 2	33.248 1	25.983 0	39.567 5	34.659 8	40.757 8	
	R^2	0.996 0	0.999 1	0.996 3	0.998 5	0.996 9	0.999 7	0.996 2	
	AQY	0.032 4	0.032 8	0.038 5	0.034 0	0.036 8	0.054 0	0.038 0	
	P_{nmax}	10.877 2	10.421 0	14.574 9	10.323 1	13.504 0	17.431 6	13.651 6	
MRH 模型 Modified rectangular hyperbola model	R_d	1.120 3	1.071 2	1.094 5	1.085 2	1.117 0	1.651 1	1.120 6	
	LCP	36.470 7	34.489 6	29.528 8	33.703 1	31.672 1	33.804 6	30.774 1	
	R^2	0.997 1	0.998 4	0.997 8	0.999 0	0.997 8	0.998 0	0.997 4	
	R_d	1.429 1	0.954 7	1.320 1	1.024 7	1.486 9	1.508 3	1.5707	
	P_{nmax}	10.850 7	10.497 8	14.436 8	10.357 1	13.430 8	13.010 7	13.592 7	
	LSP	1 600.710 0	1 838.920 0	1 492.210 0	1 587.670 0	1 433.450 0	2 204.980 0	1 434.130 0	
	LCP	37.975 6	23.698 5	33.096 7	25.500 2	39.399 8	33.816 0	39.827 9	
	AQY	0.028 9	0.029 0	0.033 1	0.028 9	0.031 0	0.032 2	0.031 4	
	R^2	0.998 3	0.999 7	0.999 5	0.999 5	0.999 9	0.999 1	0.999 4	
	经验参数 Empirical model	光响应参数 Photosynthetic parameter	$N_2P_2K_0$	$N_2P_2K_1$	$N_2P_2K_3$	$N_3P_2K_2$	$N_1P_1K_2$	$N_1P_2K_1$	$N_2P_1K_1$
	实测值 Measured value	P_{nmax}	10.599 6	12.902 6	13.461 7	10.428 9	12.227 2	13.434 4	13.189 8
		LCP	18.232 6	46.794 6	44.162 7	31.530 7	28.372 2	39.706 2	19.560 7
R_d		0.398 4	0.990 8	0.970 6	0.519 4	0.606 3	0.887 8	0.510 1	
AQY		0.027 7	0.028 9	0.027 7	0.026 0	0.029 5	0.030 3	0.029 5	
RH 模型 Rectangular hyperbola model	AQY	0.053 5	0.049 3	0.045 0	0.049 7	0.079 6	0.055 1	0.051 0	
	P_{nmax}	13.471 1	18.129 5	19.067 6	13.497 8	17.866 6	18.323 3	17.409 9	
	R_d	1.097 7	1.920 8	1.733 2	1.400 5	-5.519 6	1.895 4	1.137 0	
	LCP	22.327 0	43.551 6	42.320 6	31.440 2	-52.942 4	38.351 8	23.865 8	
NRH 模型 Non-rectangular hyperbola model	R^2	0.985 0	0.994 2	0.996 5	0.982 0	0.995 2	0.987 1	0.995 0	
	AQY	0.033 8	0.032 3	0.031 4	0.028 6	0.058 4	0.032 3	0.034 6	
	P_{nmax}	11.845 8	15.438 6	16.333 8	11.455 6	16.554 2	15.191 2	15.142 4	
	R_d	0.676 0	1.430 8	1.313 2	0.871 2	-5.886 5	1.228 5	0.707 7	
EX 模型 Exponential model	LCP	20.311 1	45.451 1	43.002 0	30.934 5	-88.318 4	38.658 2	20.782 5	
	R^2	0.989 5	0.998 7	0.999 6	0.989 4	0.996 9	0.994 7	0.998 8	
	AQY	0.034 8	0.033 0	0.031 3	0.031 9	0.075 9	0.036 6	0.035 6	
	P_{nmax}	10.391 5	12.890 7	13.584 9	10.022 5	20.930 7	13.252 3	13.210 4	
MRH 模型 Modified rectangular hyperbola model	R_d	1.069 6	1.121 4	1.102 8	1.106 0	0.708 6	1.114 8	1.057 9	
	LCP	32.390 7	35.566 3	36.765 1	36.751 6	9.493 9	31.815 4	30.975 7	
	R^2	0.992 6	0.999 5	1.000 0	0.993 1	0.997 1	0.996 4	0.999 5	
	R_d	0.744 7	1.600 9	1.472 3	0.985 4	1.069 7	1.424 2	0.850 4	
	P_{nmax}	10.461 0	12.728 1	13.368 3	10.129 1	11.942 3	13.203 3	13.111 7	
	LSP	1 348.780 0	1 638.270 0	1 846.540 0	1 300.780 0	1 386.770 0	1 417.710 0	1 663.890 0	
	LCP	19.852 1	44.188 1	42.291 1	30.318 5	28.168 7	38.108 0	21.592 4	
	AQY	0.028 8	0.029 5	0.028 6	0.027 0	0.029 9	0.030 8	0.030 2	
	R^2	0.995 7	0.999 8	0.999 8	0.998 0	0.998 8	0.999 1	0.999 8	



A. 不同氮磷钾肥处理对净光合速率的影响;B. 不同氮磷钾肥处理对蒸腾速率的影响;C. 不同氮磷钾肥处理对胞间 CO₂ 浓度的影响;D. 不同氮磷钾肥处理对叶片水分利用效率的影响

A. Effect of different N,P,K fertilizer treatments on P_n ;B. Effect of different N,P,K fertilizer treatments on T_r ;C. Effects of different N,P and K fertilizer treatments on C_i ;D. Effects of different N,P and K fertilizer treatments on WUE

图 3 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’叶片光合作用的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer treatments on photosynthesis of leaves of ‘Beibinghong’

出现在 N₂P₂K₃, 较 N₀P₀K₀ 高出 32.85%; 其次是 N₂P₂K₂, 较 N₀P₀K₀ 高出 26.27%, 说明适量的钾肥会提高‘北冰红’可溶性固形物含量。pH 的变幅为 3.40~4.27, N₂P₂K₃ 的 pH 最高, 为 4.36, 最佳的 pH 范围在 3.0~3.6^[24], N₂P₁K₂、N₂P₂K₂ 和 N₂P₂K₁ 和 N₂P₂K₃ 在这一范围内, 说明在保持常规施氮量的前提下, 适度施用磷、钾肥是保持‘北冰红’果汁在合适 pH 范围的前提。总酸的变异系数较高, 变幅为 32.70~131.67 g/kg, 总酸最低值出现在 N₁P₂K₂, 较 N₀P₀K₀ 降低 72.61%, 最高值出现在 N₂P₀K₂, 较 N₀P₀K₀ 高出 10.29%, 但差异不明显; 总酸最低值 N₁P₂K₂, 为 32.70 g/kg。不同氮、磷、钾施肥量下‘北冰红’总酚和维生素 C 变化不大, 前者集中在 0.26~0.45 mg/hg, 较 N₀P₀K₀ 提高 30.77%, 后集中在 73.34~111.52 mg/kg, 较 N₀P₀K₀ 提高 17.87%。总糖含量变幅在 139.07~201.73 g/hg, 总糖含量最高为 N₂P₃K₂, 其次是 N₂P₂K₃,

分别较 N₀P₀K₀ 高出 35.33% 和 34.13%。花色苷变幅在 2.39~5.26 mg/hg, 花色苷含量最高为 N₀P₂K₂, 较 N₀P₀K₀ 高出 20.92%, 其次是 N₂P₁K₂, 较 N₀P₀K₀ 高出 14.02%。

2.5 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’产量与肥料方程效应的响应

本研究基于三元二次肥料效应方程, 以平均单株产量 Y 为因变量, 以 N、P、K 三元二次多项式的非常数项为自变量, 进行多元线性回归分析, 得到关系式为:

$$Y = 0.969 + 129.573N - 28.660P + 88.875K - 3085.750N^2 + 1545.758P^2 - 1537.338K^2 + 1016.870NP + 1014.742NK - 1138.602PK$$

通过模型分析, 以‘北冰红’单株产量为经济目标时, 施 N 为 93.568 kg/hm²、施 P₂O₅ 为 41.364 kg/hm²、施 K₂O 为 109.355 kg/hm² 时, 单株产量可达 4.38 kg/株。氮磷钾对‘北冰红’平均产量的作用排序为: N>K>P。

表 4 不同氮磷钾施肥量对‘北冰红’果汁品质的影响

Table 4 Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilization rates on quality of ‘Beibinghong’ juice

处理 Treatment	可溶性 固形物/% Total soluble solids	pH	总酸/ (g/kg) Total acids	总酚/ (mg/hg) Total phenols	维生素 C/ (mg/kg) Vitamin C	总糖/ (g/hg) Total candies	花色苷/ (mg/hg) Anthocyanin
N ₀ P ₀ K ₀	20.82±1.57 de	4.20±0.22 ab	119.39±9.37 a	0.26±0.06 b	79.33±14.11 ab	149.07±25.71 cd	4.35±0.54 bcd
N ₀ P ₂ K ₂	23.16±3.64 bcde	4.36±0.19 a	58.32±8.24 bcd	0.33±0.12 ab	98.65±8.05 ab	157.21±13.74 bcd	5.26±0.40 a
N ₁ P ₂ K ₂	20.45±1.42 e	3.64±0.09 cde	32.70±12.11 e	0.39±0.14 ab	78.42±18.90 ab	149.66±25.67 cd	3.45±0.33 ef
N ₂ P ₀ K ₂	22.86±1.58 cde	4.05±0.09 abc	131.67±29.99 a	0.36±0.05 ab	97.32±12.57 ab	174.86±25.20 abcd	4.83±0.55 ab
N ₂ P ₁ K ₂	20.81±1.67 de	3.44±0.27 de	58.22±7.05 bcd	0.33±0.07 ab	90.32±10.71 ab	179.88±18.39 abcd	4.96±0.12 ab
N ₂ P ₂ K ₂	26.29±0.79 ab	3.59±0.33 de	43.44±8.91 cde	0.27±0.09 b	99.84±18.90 ab	196.00±36.70 ab	3.60±0.62 def
N ₂ P ₃ K ₂	23.26±2.00 bcde	4.06±0.18 abc	44.66±14.03 cde	0.42±0.08 ab	111.52±17.90 ab	201.73±19.35 a	4.76±0.66 abc
N ₂ P ₂ K ₀	24.46±1.83 bc	4.27±0.23 ab	61.91±13.14 bcd	0.32±0.04 ab	81.68±13.12 a	177.83±23.46 abcd	3.66±0.47 def
N ₂ P ₂ K ₁	26.01±1.10 abc	3.41±0.15 e	36.47±14.11 de	0.34±0.04 ab	100.35±37.37 ab	187.78±24.60 abc	3.44±0.31 ef
N ₂ P ₂ K ₃	27.66±1.71 a	3.40±0.35 e	73.62±11.91 b	0.34±0.10 a	93.51±17.43 ab	199.95±17.42 a	4.03±0.37 cde
N ₃ P ₂ K ₂	20.37±1.32 e	4.08±0.19 ab	56.68±12.21 bcde	0.45±0.07 ab	73.34±11.44 b	181.08±13.59 abcd	2.66±0.38 gh
N ₁ P ₁ K ₂	23.19±1.51 bcde	4.21±0.16 ab	73.71±5.67 b	0.39±0.11 ab	89.19±17.38 ab	154.80±10.74 bcd	3.52±0.32 ef
N ₁ P ₂ K ₁	22.75±1.17 cde	4.19±0.12 ab	63.31±6.43 bc	0.37±0.06 ab	79.27±12.99 ab	147.56±25.29 cd	3.16±0.42 fg
N ₂ P ₁ K ₁	24.08±1.26 bcd	3.86±0.44 bcd	38.85±14.75 cde	0.27±0.09 b	77.40±15.05 ab	139.07±10.54 d	2.39±0.33 h

注:数据为“平均数±标准误”,同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note:Data is “the mean±standard error”,the different lowercase letters in the same coulumn is significant difference($P<0.05$).

3 讨论与结论

3.1 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’ P_n -PAR 曲线的影响

P_n -PAR 曲线用以反映叶片光量子通量与植物净光合速率间的关系, P_n 体现为植物有机物的累积程度^[25],伴随 PAR 的上升, P_n 大多表现为“先升后降”的趋势。本试验研究发现,第一阶段[光量子通量 $\leq 300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],光作为 P_n 的唯一限制因子,此时 P_n 与 PAR 呈线性相关;当 PAR 持续上升时, CO_2 浓度、温度和 Rubisco 亦会成为限制因子^[26],达到饱和光强后 P_n 不再伴随 PAR 的上升而增加。RH、NRH 和 EX 模型 P_n -PAR 曲线是一条无极值的渐近线,在数据范围内没有最大值,无法拟合叶片在达到 LSP 后 P_n 随 PAR 的变化数据^[27],对 4 个模型对‘北冰红’拟合效果优劣排序发现,MRH 模型的 R^2 最高,明显高于 RH、NRH 和 EX 模型,可作为模拟不同氮磷钾肥处理‘北冰红’的最佳模型。

借助数学模型对光响应过程进行模拟,能够获得多项有生理意义的光合参数,如 $P_{n\text{max}}$ 、AQY、LCP 和 R_d 等。光响应参数 LCP 和 LSP 是衡量果树利用弱光和利用强光能力的重要指标,具备低 LCP 和高 LSP 的果树对光的适应能力较为突出^[28]。本研究表明,施高氮肥、高磷肥、

高钾肥和低氮肥、低磷肥和低钾肥‘北冰红’LCP 增高且 LSP 降低,利用弱光和强光的能力均会收到明显影响;而在常规施肥量下,LCP 较低且 LSP 最高,光适应幅度最宽[$2\ 204.98 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。AQY 是反映叶片光能转化的利用效率,该值越高,叶片在弱光环境下的利用效率越高^[29]。孙静克等^[30]在研究雪里蕻时发现,增施过磷酸钙能有效提升叶片 AQY。侯奕瑾等^[31]发现,增施 P、K 肥可明显提高玉米叶片 AQY。本研究发现,适当增施磷钾肥均有助于提高‘北冰红’AQY,但过量施肥会降低 AQY,如 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ 较 $\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$,AQY 高出 3.97%,而 $\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$ 较 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$,AQY 高出 0.64%。 $P_{n\text{max}}$ 是反映叶片的光合潜力的重要指标^[32],向旺等^[33]发现,氮磷比为 5:1 时,木荷 $P_{n\text{max}}$ 最高,与其他处理及 CK 差异显著,本研究发现,低氮、高磷、高钾有助于叶片 $P_{n\text{max}}$ 的提升。

3.2 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’光合作用的影响

叶片光合作用是植物生长发育的基础,均衡施肥是保证叶片维持较高光合效率的前提^[34]。本研究发现,不同氮磷钾肥施用量对‘北冰红’光合日积累值差异较明显,比如常规施氮量($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$)和低氮量($\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$)处理分别较高氮处理($\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$) P_n 分别高出 94.92%和 95.28%,低磷钾肥($\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$)和高磷钾肥($\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$ 、

$N_2P_2K_3$) P_n 都显著低于常规磷钾施肥量 ($N_2P_2K_2$)。蒸腾速率反映的是叶片水分以气态形式向外界散失的过程,叶片通过蒸腾作用使自身适应外界的变化^[35]。本研究发现, T_r 与 P_n 呈正相关,如 $N_2P_2K_2$ 和 $N_2P_3K_2$ 的光合日累积值与蒸腾日累积值均高于 $N_0P_0K_0$,说明在适量磷肥作用下,会显著提高‘北冰红’的光合作用效率,该结论与柴仲平等^[36]的结论一致。植物体水分匮乏会直接影响其生长发育。本研究发现, $N_2P_1K_2$ 较 $N_2P_0K_2$ WUE 提高了 33.56%,说明施少量磷肥能提高‘北冰红’的水分利用率,该结论与向旺等^[33]的结论一致。

3.3 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’果汁品质的影响

合理施肥是提高果实品质的基础,刘迎雪等^[37]发现,增施氮磷钾肥能提高‘北冰红’糖酸比,但对果实单宁没有显著影响。何振嘉等^[38]发现,氮磷钾肥混合施用能提高‘赤霞珠’糖酸比、花色苷和维生素 C 含量。本研究中,高钾肥 ($N_2P_2K_3$) 处理下,‘北冰红’葡萄汁可溶性固形物、总酚、维生素 C 和总糖含量较高,低氮肥 ($N_1P_1K_2$) 处理下,‘北冰红’葡萄汁总酸含量较低且花色苷含量较高,说明增施钾肥和少使氮肥能够大大提高‘北冰红’葡萄汁的品质。

3.4 不同氮磷钾肥处理对‘北冰红’产量的影响

科学合理施肥是保证作物丰产优产的前提基础^[39]。氮、磷、钾作为果树生长发育所必须的大量矿质营养元素,对果实的生长发育具有深渊影响。彭少兵等^[40]在核桃上采用三元二次肥效方程拟合得出核桃的最大产量、最佳产量及完成上述产量所需的氮、磷、钾肥用量。王灵哲等^[41]采用多元逐步回归分析,计算出氮、磷、钾对产量影响程度高低。本试验以 2022 年产量为目标, N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥纯量分别为 93.568 kg/hm²、41.364 kg/hm² 和 109.355 kg/hm² 时,‘北冰红’达到优质高产,有效提高‘北冰红’在新疆发展的经济效益。

参考文献 Reference:

- [1] 马瑞霞,杨兴元,郭锐,等.山葡萄品种在河西走廊地区的引种表现[J].寒旱农业科学,2023,2(1):30-32.
- [2] 徐美隆,乔改霞,仝倩,等.山葡萄砧木对‘黑比诺’葡萄耐旱寒的影响研究[J].中外葡萄与葡萄酒,2021(6):66-70.
- [3] GABRIELLI M,OUNAÏSSI D,LANCON-VERDIER V,et al. Hyperspectral imaging to assess wine grape quality[J]. *JSFA Reports*,2023,3(10):452-462.
- [4] 潘越,刘珩,王明,等.天山北麓 4 个山葡萄品种枝条抗寒性综合评价[J].中外葡萄与葡萄酒,2023(5):60-65.
- [5] 王庆军,朱薇,王跃华,等.分子标记在葡萄种质资源遗传多样性研究中的应用进展[J].中国果树,2023(7):15-20.
- [6] 杨欢,张庆田,刘洪章,等.东北山葡萄区域化及酿酒特性研究概况[J].北方果树,2016(3):1-4.
- [7] BRAVDO B A. Advanced approaches of irrigation and fertilization of fruit trees[C]//I Balkan Symposium on Fruit Growing 825. 2007:31-40.
- [8] 谭博,曹晓艳,刘怀峰,等.不同施肥方式对全球红葡萄光合日变化及品质的影响[J].新疆农业科学,2014,51(3):410-416.
- [9] 黄婉莉,张朝坤,康仕成,等.氮磷钾配比施肥对番石榴生长发育和果实品质的影响[J].南方农业学报,2022,53(5):1288-1295.
- [10] 叶子飘.光合作用对光和 CO₂ 响应模型的研究进展[J].植物生态学报,2010,34(6):727-740.
- [11] 赖帅彬,潘新雅,简春霞,等.转苜蓿 MsOr 基因烟草光合光响应和光合-CO₂ 响应曲线特征研究[J].草地学报,2020,28(1):20-30.
- [12] 康华靖,陶月良,权伟,等.植物光合 CO₂ 响应模型对光下(暗)呼吸速率拟合的探讨[J].植物生态学报,2014,38(12):1356-1363.
- [13] 刘阳阳,潘越,王世伟,等.不同山葡萄品种光响应模型拟合及综合评价[J].中国农业科技导报,2022,24(2):104-114.
- [14] 肖妮洁,史艳财,韦霄,等.三种藤本药食同源植物光响应模型拟合及光合特性研究[J].热带农业科学,2023,43(9):13-21.
- [15] LEAKEY A D B,URIBELARREA M,AINSWORTH E A,et al. Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought[J]. *Plant Physiology*, 2006, 140(2):779-790.
- [16] 李春丽,董清华,冯永庆,等.葡萄果实始熟期前后糖和 pH 值及 ABA 变化[J].北京农学院学报,2010,25(2):14-17.
- [17] Kyei-Boahen S,Lada R,Astatkie T,et al. Photosynthetic response of carrots to varying irradiances[J]. *Photosynthetica*,2003,41:301-305.
- [18] 许晓君,罗凡,方学智,等.热处理香榧种子油中美拉德产物的生成及其对两种总酚测定方法的影响[J].食品科学,2023,44(14):47-53.
- [19] 王忠合,卢芬,刁佳裕,等.新鲜水果及干制品中维生素 C 的提取与高效液相色谱测定方法研究[J].食品科技,2022,47(7):268-276.
- [20] 张敏,刘冰,王凡,等.葡萄酒等果酒中总糖含量检测方法的优化研究[J].酿酒科技,2023(7):111-115.
- [21] YU Q,ZHANG Y,LIU Y,et al. Simulation of the stomatal conductance of winter wheat in response to light, temperature and CO₂ changes[J]. *Annals of Botany*, 2004, 93(4):435-441.

- [22] 祝静雪,王莹,房晓琨,等.不同 N、P、K 配比对玉米光合生理特性、光合产物及子粒产量的影响[J].湖北农业科学,2023,62(10):13-21.
- [23] 潘越,史开奇,刘珩,等.伊犁不同山葡萄品种的光响应模型筛选及光能利用效率评价[J].经济林研究,2022,40(1):178-188.
- [24] 张良良,周建锡,宋岐山.晒肥对花果兼用梅果实产量和品质的影响[J].现代农业科技,2023(23):74-76,82.
- [26] ZHAI B, HU Z, SUN S, *et al.* Characteristics of photosynthetic rates in different vegetation types at high-altitude in mountainous regions[J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 907: 168071.
- [27] 陆佩玲,于强,罗毅,等.冬小麦光合作用的光响应曲线的拟合[J].中国农业气象,2001(2):13-15.
- [28] 李丽霞,刘济明,黄小龙,等.不同氮素条件米槁幼苗光合作用对 CO₂ 响应特征[J].东北农业大学学报,2017,48(2):29-36.
- [29] 潘越,史彦江,陈淑英,等.喷施叶面肥对平欧杂种榛‘新榛1号’嫩枝扦插的影响[J].江西农业大学学报,2016,38(5):920-926.
- [30] 孙静克,宗良纲,付世景,等.不同施肥处理对镉污染土壤雪里蕨光合特性的影响[J].南京农业大学学报,2007,30(4):82-86.
- [31] 侯奕瑾,刘翠花,郭其强,等.高原气候区玉米施用氮磷钾肥苗期的光合特性[J].贵州农业科学,2014,42(4):47-50,54.
- [32] 张亚黎,姚贺盛,罗毅,等.海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素[J].生态学报,2011,31(7):1803-1810.
- [33] 向旺,成向荣,徐海东,等.光照和氮磷供应比对3种典型乔木幼苗光合生理特性的影响[J].林业科学研究,2023,36(1):179-190.
- [34] JONWAL S, RENGASAMY B, SINHA A K. Regulation of photosynthesis by mitogen-activated protein kinase in rice; antagonistic adjustment by OsMPK3 and OsMPK6 [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2023, 29(9):1247-1259.
- [35] 李民青,周乐,王喜勇,等.7种荒漠木本植物枝干与叶片光合特征及其影响因素[J].应用生态学报,2023,34(10):2637-2643.
- [36] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,等.不同氮磷钾施肥配比对库勒香梨果实品质的影响[J].经济林研究,2013,31(3):154-157.
- [37] 刘迎雪,范书田,杨义明,等.不同施肥量对“北冰红”葡萄营养元素积累及产量、品质的影响[J].北方园艺,2023(7):46-51.
- [38] 何振嘉,刘全祖.覆盖对贺兰山东麓滴灌酿酒葡萄产量和品质的影响[J].排灌机械工程学报,2022,40(5):488-495.
- [39] 王伟军,陈文朝,郝建宇,等.合理施肥对土壤速效养分改善及“北冰红”葡萄产量的影响[J].北方园艺,2023(13):51-56.
- [40] 彭少兵,成艳霞,董文浩,等.核桃“3414”肥料效应试验及推荐施肥量的回归分析[J].经济林研究,2018,36(4):27-32.
- [41] 王灵哲,宋锋惠,史彦江,等.不同氮磷钾施肥量对平欧杂种榛光合性能及产量品质的影响[J].林业科学研究,2020,33(1):55-61.

Effects of Different Ratios of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Photosynthetic Performance, Yield and Quality of ‘Beibinghong’

PAN Yue¹, WANG Jijiao^{1,2}, HU Haifang¹ and LI Shude³

(1. Research Institute of Landscaping, Xinjiang Academy of Forestry Science, Urumqi 830000, China;

2. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

3. Xinjiang Niya Wine Co., Changji Xinjiang 832200, China)

Abstract To investigate the effects of different fertilization rates of nitrogen, phosphorus and potassium on the photosynthetic characteristics, yield and quality of ‘Beibinghong’, by taking ‘Beibinghong’ as the research object in Xinjiang over five years, to provide a fertilization recommendations for *Vitis amurensis* Rupr. development in Xinjiang. The “3414” fertilization effect test was conducted to determine the effects of different fertilization rates of nitrogen, phosphorus and potassium on the photosynthetic characteristics of ‘Beibinghong’ leaves, photosynthesis-light response curves (net photosynthesis rate (P_n)-light intensity (PAR) curves) at the fruit ripening stage, yield and juice-based physicochemical traits. Different models including the right-angle hyperbola (RH) model, non-right-angle hyperbola (NRH) model, exponential (EX) model, and modified right-angle hyperbola (MRH) model, were used to fit the P_n -PAR curves under different nitrogen, phosphorus, and potash fertilizer ratios, and to analyze the photosynthetic parameters (P_n , T_r , C_i , and WUE) on yield and quality responses. The P_n -PAR curve of MRH model was fitted best, and calculated AQY , LCP and R_d , P_{nmax} and LSP were closest to the measured values. The yield analysis of ‘Beibinghong’ yielded that the fertiliser ratios of $N_2P_2K_3$ and $N_1P_2K_2$ increased the yield of a single plant by 282.38% and 234.43%, respectively, compared to the $N_0P_0K_0$ ratios. Through the physicochemical traits of the juice, it was concluded that $N_2P_2K_3$ increased total soluble solids, total phenolics, vitamin, and total sugar content by 32.85%, 30.77%, 17.87%, and 34.13%, respectively, compared to $N_0P_0K_0$. $N_1P_2K_2$ reduced total acids by 72.61% and reduced anthocyanin content by 20.69% compared with $N_0P_0K_0$. A comprehensive comparative analysis showed that fertilization with N, P_2O_5 , and K_2O at 93.568 kg/hm², 41.364 kg/hm², and 109.355 kg/hm², respectively, effectively improves the photosynthetic characteristics, yield, and quality of ‘Beibinghong’ during the ripening period.

Key words Beibinghong; Photosynthetic characteristics; Yield; Quality

Received 2023-12-12

Returned 2024-03-10

Foundation item Xinjiang Uygur Autonomous Region Key R&D Projects (No. 2022B02045-2-3); The “Agriculture, rural areas, farmers” Backbone Talent Cultivation Program of Autonomous Region (No. 2022SNGGHT084).

First author PAN Yue, male, associate researcher. Research area: forest genetic breeding and fruit tree cultivation. E-mail: 18690187637@163.com

Corresponding author LI Shude, male, bachelor. Research area: wine grape cultivation technology promotion. E-mail: 37228844@qq.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)