



虞汕瑛,张辽,张娜娜,等.西兰花茎叶汁液发酵液对小青菜生长的影响[J].黑龙江农业科学,2025(1):69-75.

# 西兰花茎叶汁液发酵液对小青菜生长的影响

虞汕瑛,张 辽,张娜娜,束良佐

(台州学院 生命科学学院,浙江 台州 318000)

**摘要:**为促进西兰花废弃茎叶汁液的资源化利用,以小青菜为供试材料,分别以培养皿培养和基质栽培的方法,研究不同稀释倍数下西兰花茎叶汁液发酵液对青菜种子萌发、幼苗生长、叶绿素相对含量、叶绿素荧光和光合作用的影响。结果表明,稀释 10 倍的西兰花茎叶汁液发酵液对青菜种子的发芽率、发芽率和根长等有明显的抑制作用,随着稀释倍数的增加,抑制作用解除,稀释 50 倍及以上的西兰花茎叶汁液发酵液对小青菜种子的萌发具有促进作用。盆栽试验结果表明,稀释 50 倍至 100 倍的西兰花茎叶汁液发酵液可促进叶绿素的合成,增加 ETR(光合电子传递速率)、qP(光化学淬灭)、Y(II)值(光合量子产量),从而促进小青菜光合速率以及植物生长,鲜重平均提高 25.07%,其中稀释 50 倍处理下干重较对照增加了 11.89%。因此,西兰花茎叶汁液发酵液在稀释 50 倍至 100 倍能够促进种子萌发和小青菜生长,尤其是 50 倍效果较好。

**关键词:**西兰花茎叶;发酵液;小青菜;光合;叶绿素荧光

西兰花学名青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *italica* Planch),又称西蓝花,其食用部分是由花蕾群及其花茎组成的绿色花球。目前,中国西兰花种植面积已超过 2.7 万  $\text{hm}^2$ ,年产量超过 100 万 t。其中浙江是我国西兰花的主产区,种植面积超过 1.3 万  $\text{hm}^2$ ,年产量约 30 万 t,产值近 10 亿元,浙江省台州市种植西兰花已有 30 多年的历史,规模化种植比例高,常年种植面积稳定在 0.8 万  $\text{hm}^2$  左右,约占浙江省西兰花种植面积的 60%,占全国的 25%,是全国最大的冬春西兰花生产中心<sup>[1-2]</sup>。西兰花的可食用部分约占整个植株的 50%,这意味着西兰花在短时间内产生的茎叶废弃物数量巨大,台州市西兰花茎叶废弃物产量超 20 万 t,还会产生大量的尾菜。蔬菜尾菜中含有丰富的有机营养物质及矿质营养,通过堆肥处理加以资源化利用,既能改良土壤,增加土壤中的有机质含量,又能改善农产品的品质,提高产量,起到增产增效的作用<sup>[3-5]</sup>。另外,将蔬菜尾菜饲料化应用的研究也日益增多。利用蔬菜尾菜或菠萝叶渣制作青贮饲料,有利于绵羊增重,增加奶牛产奶量和牛乳比重<sup>[6-7]</sup>。

西兰花废弃茎叶含有丰富的有机营养物质及钙、镁、钾、钠、铁、锌、铜等元素,并且一些有益成分含量高出花球<sup>[2]</sup>。但西兰花茎叶的含水量高,易腐烂,容易造成植物烧苗,且过量的残体会污染环境,同时也会导致资源的浪费<sup>[8-9]</sup>。对西兰花废

弃物进行有效的处理已成为当地政府和企业面临的重大难题。研究表明,西兰花尾菜还田可提高作物本身的抗氧化活性物质含量<sup>[10]</sup>。但西兰花废弃物中可能会携带大量病原菌和虫卵,增加作物发病的几率。西兰花尾菜也可以用来生产西兰花茎叶粉、西兰花青贮料和叶蛋白等产品<sup>[11]</sup>。但由于环保和产能等各种因素的限制,这些方法仅能处理少量西兰花尾菜。将西兰花废弃茎叶经过高压压榨,去掉汁液,后经烘干成为颗粒状饲料是西兰花尾菜利用的一条新途径。临海市有企业把尾菜去汁造粒生产饲料,然而对其压榨出的大量汁液如何利用缺乏研究。

小青菜生长周期短,富含维生素、纤维素和矿物质,具有降血脂等功效,是日常消费量较多的一种蔬菜。前期研究发现,直接利用新鲜的西兰花茎叶汁液稀释液浇灌小青菜会对其生长产生抑制作用(未发表的数据)。本研究仍然选取小青菜为研究对象,对西兰花茎叶汁液进行陈放发酵,研究不同稀释倍数的西兰花发酵液对小青菜种子萌发以及植株生长的影响,旨在为西兰花废弃茎叶汁液的资源化利用提供理论支持,实现西兰花残体的循环利用,避免资源浪费、环境恶化等问题,促进生态和经济良性循环。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试小青菜种子为速生火青菜(产自南通中

收稿日期:2024-09-17

基金项目:浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)(2022R436A007)。

第一作者:虞汕瑛(2003—),女,本科生,专业方向为植物生理学。E-mail:ysy96396320@163.com。

通信作者:束良佐(1969—),男,博士,教授,从事植物生理学与植物营养学研究。E-mail:shulz69@163.com。

江农业发展有限公司)。西兰花汁液取自台州市临海市上盘镇一西兰花尾菜压榨车间。该车间利用西兰花尾菜茎叶,通过物理压榨,挤出汁液,留其茎叶固体渣经特殊工艺干燥后造粒,当作牛饲料。取其压榨出的西兰花茎叶汁液,于塑料桶中密封,定期排气,至桶中几乎无气体排出时完成发酵,发酵时间 90 d,取液体待用。

## 1.2 方法

1.2.1 试验设计 取发酵后的西兰花汁液,分别稀释 10 倍(A1)、50 倍(A2)、100 倍(A3)、200 倍(A4)、500 倍(A5)、1 000 倍(A6)待用。

1.2.2 种子萌发试验 选取大小均一、形态正常的小青菜种子置于铺有 2 层滤纸的培养皿中进行萌发试验,每皿 100 粒。试验共设 5 个处理:CK(清水对照)、A1、A2、A3、A5 处理。每个处理设置 4 个重复,每天浇等量处理液 10 mL。

将所有处理放置到光照培养箱内进行催芽和培养。培养箱的温度( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ ,光期  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在萌发的第 3 天和第 7 天分别统计种子的发芽数。

1.2.3 小青菜盆栽试验 选取大小均一、形态正常的小青菜种子置于装有基质的盆中,每盆 15 粒。所用基质按照 40% 的泥炭、30% 的蛭石和 30% 的珍珠岩比例配制。配制好后根据体积比加入 10% 的有机肥,另外加入一定量的复合肥和微量元素肥料。试验共设 6 个处理:CK、A2、A3、A4、A5、A6 处理,每个处理设置 5 个重复。在播种后第 5 天进行间苗,每盆保留大小均匀的植株 5 株。试验在人工培养室中进行,光源由 LED 灯提供,光照时间设置为  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,光照强度为  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度为( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度为 60%~70%。每天浇等量处理液 150~200 mL。第 25 天测量株高、叶长、叶宽,第 30 天测定叶片中的叶绿素荧光值、叶绿素的相对含量和光合指标。

## 1.3 测定项目及方法

1.3.1 发芽势和发芽率的测定 在第 3 天和 7 天观察小青菜种子发芽情况,并按以下公式计算

发芽势(%) = 前 3 d 发芽的种子数/供试种子数  $\times 100$

发芽率(%) = 前 7 d 发芽的种子数/供试种子数  $\times 100$

1.3.2 苗高、根长、叶长、叶宽的测定 用游标卡尺分别测定主根长度、小青菜苗的高度、叶片的长度和叶片的宽度,随机计算 10 株平均值。

1.3.3 植株高度的测定 用直尺测量,培养皿试验中每个培养皿随机取 10 株测定后取平均值,盆栽试验中每株分别测定植株高度。

1.3.4 叶片总面积的测定 用打孔器随机在叶面避开主叶脉的不同部位打 30 片小圆片,称量 30 片小圆片的质量,并计算小圆片的面积,再称量叶片的总质量,根据公式计算出每盆植株叶片的总面积。

1.3.5 植株鲜重和干重的测定 用分析天平测定地上部质量为鲜重,将青菜地上部分新鲜组织在烘箱中烘干后称干重,每盆以 5 株统计。

1.3.6 光合指标的测定 每盆选取长势有代表性的植株 2 株,选择充分展开的叶片,用 Li-6400P 光合测定仪(美国, Li-6400P)测定小青菜叶片的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )<sup>[12]</sup>。每株重复记录 3 个观测值。

1.3.7 叶绿素荧光的测定 用 MINI-PAM II 叶绿素荧光仪的叶夹夹住待测叶片进行暗处理 20 min 后,测定初始荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ ),计算可变荧光( $F_v$ )、PS II 最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )及 PSII 的潜在活性( $F_v/F_o$ )。

快速光响应曲线分别用 0, 63, 87, 121, 184, 276, 407, 608, 795, 1 111 和 1 449  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  强度的光化光照射叶片 40 s,测定各光强下的实际光合量子产量[Y(II)],光化学猝灭系数(qP)、非光化学猝灭系数(NPQ)、表观电子传递速率(ETR)<sup>[13-14]</sup>,每盆取 3 株测定的平均值。

1.3.8 叶绿素含量的测定 用 SPAD 叶绿素仪进行测定,测定时避开主叶脉,每盆多点测定 20 次,然后取平均值代表该盆数值。

## 1.4 数据分析

试验所有数据使用 Excel 2019 进行初步整理,使用 SPSS 22 计算各指标平均值及标准误差,并用单因素方差分析法(ANOVA)和多重分析比较法(LSD)进行差异显著性分析( $P < 0.05$ ),用 Sigmaplot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 西兰花茎叶汁液发酵液对种子萌发试验中小青菜种子萌芽和幼苗生长的影响

2.1.1 发芽势和发芽率 由图 1 可知,在汁液发酵液稀释 10 倍(A1)处理下,小青菜种子发芽势比对照 CK 下降了 81.21%,而在稀释 50 倍(A2)处理下,种子发芽势比对照上升了 13.42%,稀释 100 倍(A3)和 500 倍(A5)的处理之间发芽势没有显著差异,但是均高于 CK,平均高出 28.19%。与 CK 相比,小青菜种子的发芽率在 A1 处理下下降了 53.69%,而 A2、A3 和 A5 处理下(稀释 50 倍至 500 倍)发

芽率增加了 17.45%~28.86%，其中以 A5 处理发芽率最高。因此，低浓度的西兰花茎叶发酵液对种子萌发具有促进作用。

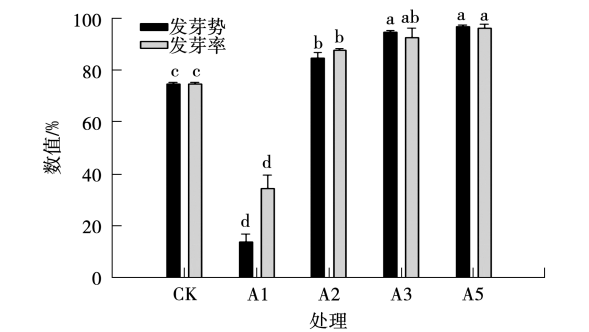


图1 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对小青菜种子萌发的影响

注：不同小写字母表示处理间在  $P<0.05$  水平差异显著。下同。

2.1.2 株高和根长 由图 2 可知，小青菜幼苗苗高在 A1(稀释 10 倍)处理下最低，比对照 CK 下降了 28.70%，而在 A2 处理下最高，比 CK 增加了 54.35%，随稀释倍数再增加，苗高逐渐下降。然而幼苗的根长在 A3 与 A5 下最高，平均比 CK 高出 58.42%。

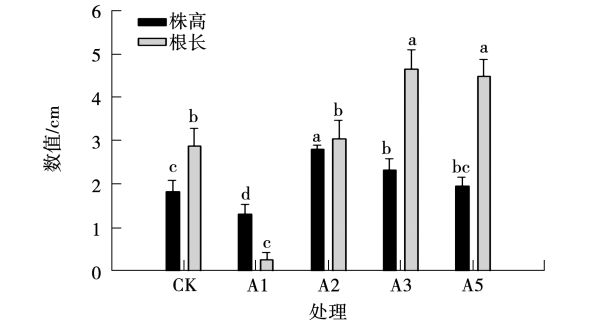


图2 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对小青菜幼苗株高、根长的影响

2.1.3 叶长和叶宽 由图 3 可知，与 CK 相比，在 A1、A2 处理下西兰花幼苗叶片的长度分别增加了 19.22%和 52.84%，宽度分别增加了 9.32%和 59.31%。而随着稀释倍数继续增加，叶片长度与宽度则逐渐下降，至 A5 浓度下与 CK 无显著性差异。

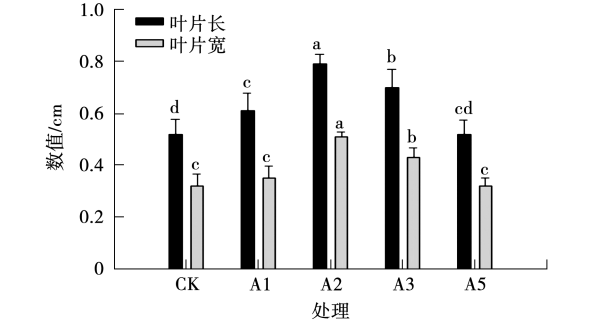


图3 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对皿培小青菜叶片长宽的影响

## 2.2 西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽试验中小青菜生长的影响

2.2.1 株高及叶部形态 由表 1 可知，由于 A1 处理显著抑制小青菜种子萌发及幼苗生长，因此在青菜基质栽培试验中去掉了该浓度处理，而增加了稀释 200 倍(A4 处理)及稀释 1 000 倍的处理(A6 处理)。不同稀释倍数的西兰花发酵液处理虽然有增加小青菜株高的趋势，但是与 CK 处理间没有显著性差异。A2 处理下最大叶片的长、宽显著高于 CK 处理，分别比 CK 处理增加了 7.37%和 9.64%。其他稀释倍数处理下，随着稀释倍数的增加，叶片长、宽有逐渐下降的趋势，但是与 CK 之间差异不显著。而叶面积在不同处理之间差异显著。与 CK 相比，A2 处理下叶片面积增加了 30.86%。随着发酵液的稀释倍数增加，叶面积逐渐下降，至稀释 1 000 倍(A6 处理)后叶面积与 CK 已无显著差异。

表 1 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜生长的影响

处理	株高/cm	叶片长/cm	叶片宽/cm	叶面积/cm <sup>2</sup>
CK	9.58±0.92 a	10.18±0.46 b	7.68±0.39 b	5721.14±132.17 d
A2	9.94±0.34 a	10.93±0.56 a	8.42±0.32 a	7486.84±174.98 a
A3	10.10±0.54 a	10.70±0.37 ab	8.23±0.21 ab	6942.33±85.71 b
A4	10.43±0.42 a	10.48±0.34 ab	8.13±0.27 ab	6490.11±41.07 c
A5	9.95±0.55 a	10.38±0.46 ab	7.86±0.54 b	6230.11±70.39 c
A6	9.82±0.56 a	10.28±0.26 ab	7.70±0.39 b	5768.63±136.98 d

注：不同小写字母表示处理间在  $P<0.05$  水平差异显著。下同。

2.2.2 鲜重和干重 由图 4 可知，稀释 50 倍(A2 处理)与 100 倍(A3 处理)的处理小青菜鲜重最高，且它们之间没有显著性差异，平均比 CK 高出 25.07%。而稀释 200 倍(A4)至 1 000 倍(A6)

后，鲜重与 CK 之间没有显著性差异。A2 处理下干重比 CK 高出 11.89%，其他处理之间干重没有显著性差异。

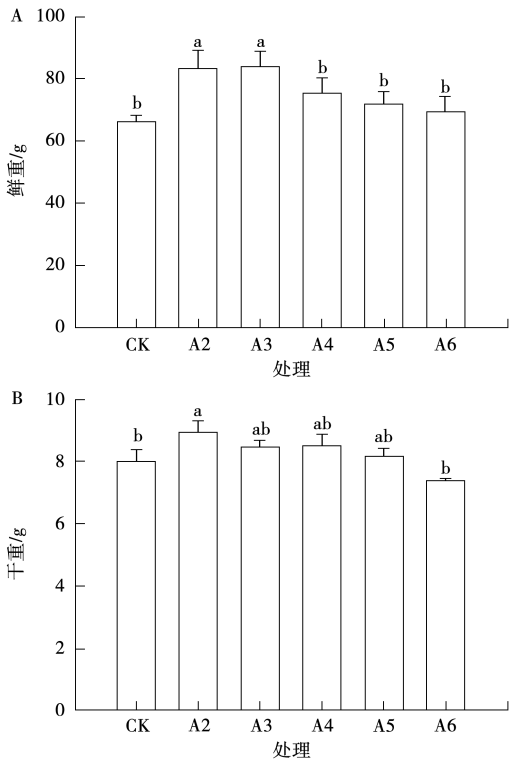


图 4 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜地上部分鲜重(A)和干重(B)的影响

2.3 西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜叶片光合作用的影响

叶片中叶绿素含量与光合作用有紧密联系。由图 5 可知,西兰花茎叶汁液发酵液稀释到 50 倍(A2)至 200 倍(A4)时,对小青菜叶绿素相对含量

起到促进作用,其中 A2 至 A4 处理平均比对照高出了 5.98%,而稀释 500 倍(A5)和 1 000 倍(A6)处理与 CK 间没有显著差异。

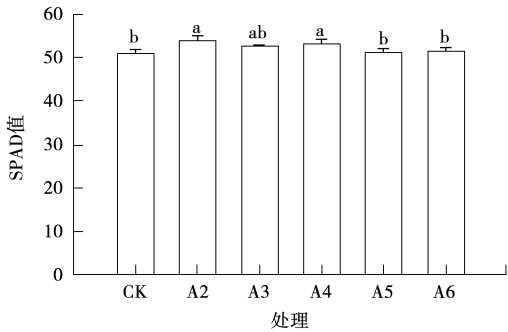


图 5 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜叶片叶绿素相对含量的影响

叶片的净光合速率( $P_n$ )在 A2、A3 处理下达到最高值,分别比 CK 高出 44.16%和 34.60%,A4 处理也显著高于 CK,但是低于 A2、A3 处理,A5、A6 处理与 CK 间没有显著性差异(图 6A)。蒸腾速率( $T_r$ )在 A2 处理下较 CK 增加了 52.08%,在 A3 处理下达到最高,然后随着稀释倍数增加而逐渐下降(图 6B)。气孔导度( $G_s$ )在 50 倍(A1)至 500 倍(A5)稀释液下相互之间没有显著性差异,但都显著高于 CK 和 A6,而后两者间没有显著性差异(图 6C)。不同发酵液稀释倍数处理均能提高细胞间隙  $CO_2$  浓度( $C_i$ ),其中 A3、A4、A5 的  $C_i$  值在各处理中相对较高(图 6D)。

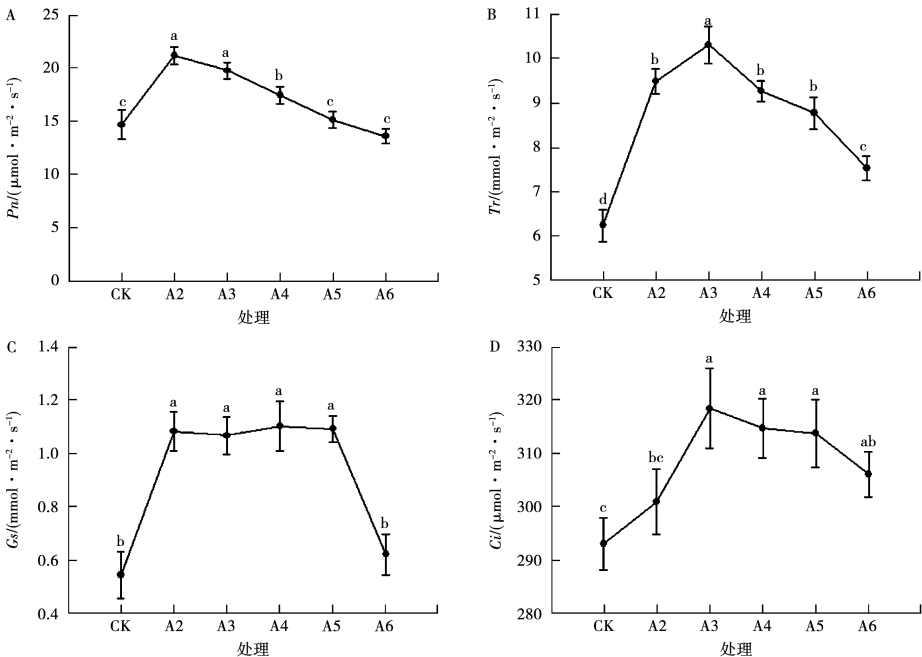


图 6 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜光合作用的影响



## 2.4 西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜叶绿素荧光参数的影响

$F_o$ 、 $F_v/F_m$  在不同处理间数值变化幅度不大(表 2),A3 处理下  $F_m$  值较大,而  $F_v/F_o$  在 A2、A3 处理下保持较高的活性,然而上述值在不同处理间差异均不显著。

表 2 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜叶绿素荧光参数的影响

处理	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
CK	336.750±25.354 a	1915.625±239.572 a	0.822±0.019 a	4.693±0.611 a
A2	339.250±15.181 a	1958.250±167.994 a	0.826±0.014 a	4.775±0.458 a
A3	355.500±12.276 a	2034.167±286.183 a	0.823±0.024 a	4.721±0.768 a
A4	359.875±30.997 a	2011.188±152.113 a	0.821±0.014 a	4.608±0.425 a
A5	356.250±22.919 a	1982.000±145.781 a	0.819±0.015 a	4.578±0.465 a
A6	335.130±21.643 a	1840.125±209.423 a	0.818±0.017 a	4.529±0.516 a

ETR-PAR 曲线反映了不同光强下通过 PSII 的表观电子传递速率<sup>[13-14]</sup>。由图 7B 可知,当 PAR 小于  $600\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时,ETR 随着光强的增加而迅速增加,当 PAR 大于  $600\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  后变得缓慢增加;在 PAR 超过  $407\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  后,A2 与 A3 处理下 ETR 值明显高于 CK,最大光强下,A2 与 A3 处理 ETR 值高出 CK 24.19%和 17.61%,

快速光响应曲线测定结果表明,Y(II)均随光合有效辐射 PAR 的增强而下降,其中在  $0\sim 600\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内迅速下降,之后变得平缓;稀释 50 倍与 100 倍(A2、A3)处理下的曲线均高于 CK,A6 处理下则下降较多(图 7A)。

而 A6 处理降低了 36.64%。  
NPQ 随光强增加而增大,A4 处理一直明显高于 CK,而 A2 处理低于 CK,但在荧光诱导结束后高于 A6 处理(图 7C)。  
qP 随着 PAR 的增加而降低,但是 A2、A3 处理始终高于 CK,A6 处理明显降低(图 7D)。

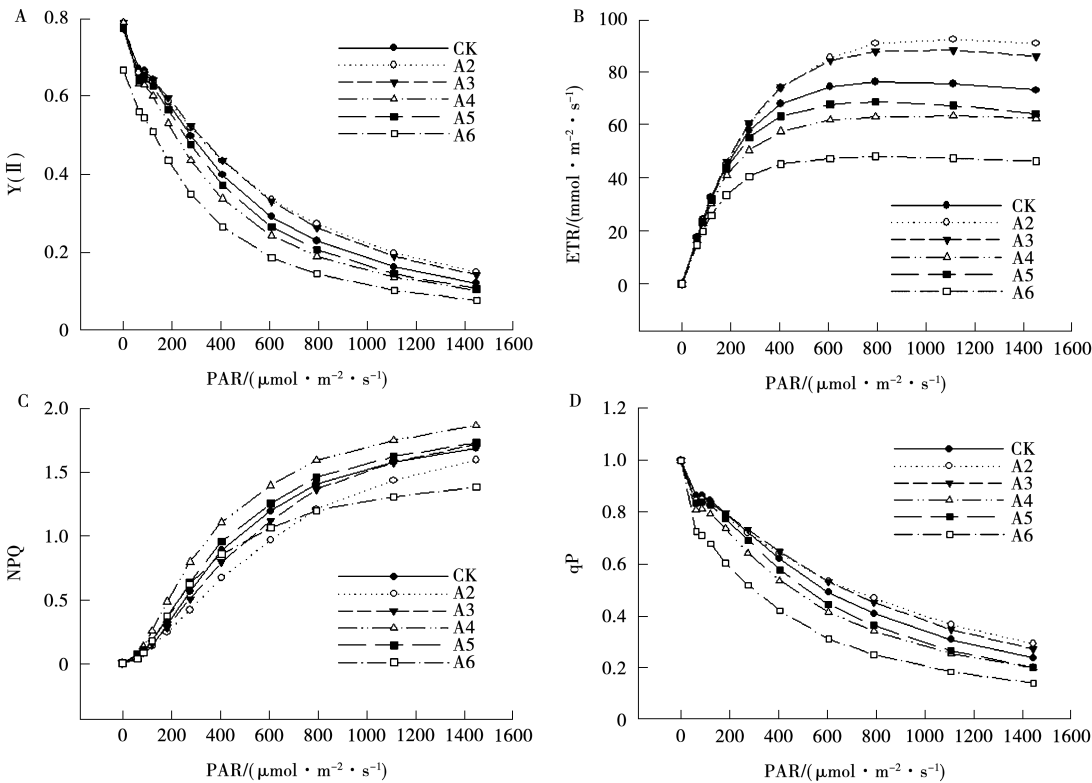


图 7 不同稀释倍数的西兰花茎叶汁液发酵液对盆栽小青菜对快速光响应曲线荧光参数的影响

### 3 讨论

本研究观察到在适当浓度的西兰花茎叶汁液发酵液处理下,促进了西兰花的种子萌发,叶绿素含量增加,叶绿素荧光参数  $Y(II)$ 、ETR、 $qP$  等值升高,光合速率增加,从而促进小青菜的生长。

西兰花等尾菜茎叶中含有丰富的氮、磷、钾、微量元素等矿质元素;西兰花茎叶中抗坏血酸、总酚、总黄酮等抗氧化活性成分含量丰富,并且是优质的蛋白质来源,富含蛋白质、氨基酸、纤维素等有机营养<sup>[10,15]</sup>。西兰花尾菜经过发酵后,一些大分子物质会转化成小分子物质,其营养物质更有利于植物的吸收,提高植物抗氧化活性物质的含量,同时在发酵过程中还会产生大量有益微生物,促进作物生长<sup>[10,16-17]</sup>。因此,富含营养的西兰花茎叶汁液发酵液在 50 倍稀释倍数以上可以促进种子萌发,在 50 倍至 200 倍时,对小青菜叶片中叶绿素相对含量起到促进作用,表明适当浓度的发酵液可以促进叶绿素的合成。而叶绿素是植物光合作用中吸收光能的一种重要色素,叶绿素含量的增加及氮磷等营养元素的改善能够提高植物的光合性能<sup>[18-19]</sup>。同时本研究试验发现,在适当的稀释倍数下,小青菜气孔导度增加,有利于  $CO_2$  进入气孔,为光合作用提供更多的原料,利于提高光合速率,但同时也增加了蒸腾速率,其中以 A3 处理下达到最高,暗示着耗水量也增加。

叶绿素荧光参数是探讨植物光合性能的重要探针。PS II 是植物光合作用的重要部位, $F_v/F_m$  能够反映 PS II 原初光能转化效率, $Y(II)$  反映植物叶片实际光合效率, $qP$  表征 PS II 反应中心吸收的光能用于光化学电子传递的份额,ETR 反映实际光反应过程中的表观电子传递效率,NPQ 反应通过荧光猝灭耗散的热能,以及在强光下叶片的自我保护机制<sup>[13]</sup>。本研究表明,与清水对照相比,稀释 50 倍和 100 倍发酵液处理下, $F_v/F_m$  及  $F_v/F_o$  的值有高于对照组的趋势,而  $Y(II)$ 、 $qP$ 、ETR 明显增高,表明在一定稀释倍数(50 倍至 100 倍,尤其是 50 倍)发酵液的处理下,能促进光能的吸收,提高光反应过程中的表观电子传递效率,提升 PS II 原初光能转化效率,进而提升小青菜叶片的实际光合效率。而随着稀释倍数的增加幼苗的 NPQ 值增幅逐渐增加,一方面反映了叶片的自我保护机制,另一方面也表明了随着稀释

倍数的增加幼苗吸收的光能以热能形式耗散增多,进行光化学反应的能量减少,从而影响叶片的光合作用。

### 4 结论

稀释 50 倍及以上的西兰花茎叶汁液发酵液能够促进小青菜种子萌发,提高发芽率与发芽势,其中稀释 50 倍时能够促进幼苗地上部生长,而稀释 100 倍到 500 倍浓度下促进根系生长。

稀释 50 倍及 100 倍的西兰花茎叶汁液发酵液能够促进叶绿素的合成,促进光合电子传递,利于更多的光能向光反应中心分配(光化学淬灭  $qP$  增加),增加量子产率,从而促进光合作用,促进小青菜的生长,尤其是 50 倍下,干物质积累增加明显,而过高的稀释倍数对小青菜的促进效应减弱。

### 参考文献:

- [1] 顾宏辉,王建升,虞慧芳,等. 浙江省西兰花产业未来发展的思考[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(5): 851-853.
- [2] 屈为栋,何道根,苏英京. 台州市西兰花产业现状、存在问题及发展对策[J]. 浙江农业科学, 2009, 50(6): 1062-1065.
- [3] 杨学琴,赵丽娜. 蔬菜废弃物无害化处理及再利用的探讨[J]. 农业与技术, 2019, 39(8): 23-24.
- [4] 韩伶,李衍素,于贤昌,等. 日光温室蔬菜残株堆腐后还田对根区土壤环境及蔬菜产量的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1553-1559.
- [5] 胡晓婷,陈丹艳,牛博宇,等. 番茄秸秆堆肥提高番茄果实风味的适宜添加比例研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(4): 611-619.
- [6] RETNANI Y, SAENAB A, TARYATI. Vegetable waste as wafer feed for increasing productivity of sheep[J]. Asian Journal of Animal Sciences, 2013, 8(1): 24-28.
- [7] 连文伟,张劲,李明福,等. 菠萝叶渣青贮饲料饲喂奶牛对比试验[J]. 热带农业工程, 2003, 27(4): 23-25.
- [8] 刘媛媛. 农业废弃物资源化利用问题研究[J]. 当代农村财经, 2016(5): 51-57.
- [9] 米敏,钱仲仓,杨子峰. 临海市西兰花产业现状、存在问题和对策[J]. 农村经济与科技, 2016, 27(19): 79-81.
- [10] SANTOS F T, GOUFO P, SANTOS C, et al. Comparison of five agro-industrial waste-based composts as growing media for lettuce: Effect on yield, phenolic compounds and vitamin C[J]. Food Chemistry, 2016, 209: 293-301.
- [11] 孙宏,姚晓红,汤江武,等. 西兰花废弃茎叶的资源化利用模式及其在动物生产上的应用[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(4): 24-28.
- [12] 张强,徐飞,王荣富,等. 控制性分根交替灌溉下氮形态对番茄生长、果实产量及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3547-3555.

[13] 姚丽华,查建军,李亚丽,等. 不同 pH 条件下镉对水稻幼苗的毒害效应[J]. 农业环境科学学报,2022,41(10):2111-2119.

[14] 王凯鑫,杜利霞. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对赖草叶片光合、叶绿素荧光、超微结构的影响[J]. 山西农业科学,2024,52(1):86-93.

[15] 孙亚天. 西兰花废弃叶片中活性成分测定及功能研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2019.

[16] 王宣. 设施尾菜发酵液对作物生长作用效果研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2022.

[17] 陈小伟,程勇杰,范昊安,等. 草莓酵素发酵过程中氨基酸成分分析和蛋白质营养评价[J]. 食品工业科技,2018,39(17):64-70,78.

[18] 陈妮,江海都,彭丽辉,等. 3 种金花茶组植物光合特性及叶片显微结构的比较[J/OL]. 分子植物育种,1-17[2024-09-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20240812.1627.008.html>.

[19] 王慧娟,孟月娥,赵秀山,等. 不同施肥水平对茶条槭生长及光合生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(5):1023-1026.

# Effects of Fermentated Juice of Broccoli Stem and Leaf on Growth of *Brassica chinensis*

YU Shanying, ZHANG Liao, ZHANG Nana, SHU Liangzuo

(School of Life Sciences, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** In order to promote the resource utilization of discarded stem and leaf juice from broccoli, the effects of fermentated juice of broccoli stem and leaf on seed germination, seedling growth, chlorophyll relative content, chlorophyll fluorescence and photosynthesis were examined by petri dish culture and substrate culture respectively. *Brassica chinensis* was used as the test material. The results showed that ten times dilution of the fermentated juice had obvious inhibitory effects on the germination potential, germination rate and root growth of *Brassica chinensis*. With the increase of dilution multiple, the inhibitory effect was removed, and 50 or more times of dilution of the fermentated juice could promote the germination of *Brassica chinensis* seeds. The pot experiment with substrate cultivation showed that 50 to 100 times of dilution of the fermentated juice could promote the synthesis of chlorophyll, increase ETR (photosynthetic electron transfer rate), qP (photochemical quenching) and photosynthetic quantum yield (Y(II) value), thus promote the photosynthetic rate and plant growth. The fresh plant weight increased by 25.07% on average for 50 times to 100 times of dilution treatments compared with CK (treated with distilled water), and an increment of 11.89% in dry weight was observed with 50 times of dilution treatment. Therefore, the fermentated juice of broccoli stem and leaf can promote seed germination and the growth of *Brassica chinensis* when diluted to 50—100 times, especially 50 times.

**Keywords:** broccoli stem and leaf; fermentated juice; *Brassica chinensis*; photosynthesis; chlorophyll fluorescence

欢迎订阅