



在盐碱地条件下施用腐植酸和黄腐酸 对大麦生长和产量的改善作用

Ibtisam Mohammed Alsudays¹ Fowzia Hamdan Alshammary² Nadiyah M. Alabdallah^{2, 3} 等著

王雅婷⁴ 陈子平⁴ 陈世金⁴ 祖艳红⁴ 张富源⁴ 谈恩培⁴ 樊建⁴ 译

1 沙特阿拉伯卡西姆大学理学院生物系 布赖代 52571

2 沙特阿拉伯伊玛目阿卜杜拉赫曼本费萨尔大学理学院生物系 达曼 31441

3 沙特阿拉伯伊玛目阿卜杜拉赫曼本费萨尔大学基础与应用科学研究中心 达曼 31441

4 安徽省科技成果转化促进中心, 安徽省科学技术研究院 合肥 230088

摘要: 向土壤中添加腐植酸、黄腐酸等有机质, 可以增加土壤速效养分含量、改善土壤化学性质、促进植物生长和增加粮食产量。本研究采用腐植酸 (HA)、黄腐酸 (FA) 和推荐用量磷肥 (RDP) 在盐碱地条件下进行一项田间试验, 使用 HA 或 FA 和 RDP (0、50%、75% 和 100% 4 种比例) 处理大麦幼苗。通过测定 HA、FA 和不同比例 RDP 处理后大麦幼苗的籽粒产量、秸秆产量、株高、穗长和穗重等农艺性状, 研究这些处理对盐胁迫下植株生长, N、P、K 吸收, 籽粒产量及其构成因素的促进作用。结果表明: HA + 100% RDP (T1)、HA + 75% RDP (T2)、FA + 100% RDP (T5)、HA + 50% RDP (T3) 和 FA + 75% RDP (T6) 处理显著提高了千粒重、籽粒产量、收获指数以及秸秆和籽粒中 N、P、K 的吸收量。与不施磷肥对照相比, 以上 5 个处理大麦第一季产量分别增产 64.69%、56.77%、49.83%、49.17%、44.22%, 第二季产量分别增产 64.08%、56.63%、49.19%、48.87%、43.69%; 与相同磷肥施用量处理相比, 大麦第一季产量分别增产 22.30%、24.35%、11.27%、10.78%、7.11%, 第二季产量分别增产 22.17%、25.06%、11.08%、10.84%、6.99%。因此, 在盐胁迫条件下, 除施用磷肥外, 在 T1、T2、T5、T3、T6 处理中, 以土壤施用 HA 或叶面喷施 FA 的大麦植株效果最佳。综合上述使用有机改良剂 (HA 或 FA) 处理后大麦植株不同性状改善情况, 充分表明使用有机改良剂可以有效增强大麦对盐胁迫的耐受性。

关键词: 大麦; 腐植酸; 腐植酸钾; 黄腐酸; 盐分

中图分类号: TQ314.1, S512.3 **文章编号:** 1671-9212(2025)01-0051-12

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.01.008

Applications of Humic And Fulvic Acid under Saline Soil Conditions to Improve Growth and Yield in Barley

Ibtisam Mohammed Alsudays¹, Fowzia Hamdan Alshammary², Nadiyah M. Alabdallah^{2, 3}, et al write

Wang Yating⁴, Chen Ziping⁴, Chen Shijin⁴, Zu Yanhong⁴, Zhang Fuyuan⁴, Tan Enpei⁴, Fan Jian⁴ translate

1 Department of Biology, College of Science, Qassim University, Saudi Arabia, Burydah, 52571

2 Department of Biology, College of Science, Imam Abdulrahman Bin Faisal University, Saudi Arabia, Dammam, 31441

3 Basic & Applied Scientific Research Centre, Imam Abdulrahman Bin Faisal University, Saudi Arabia, Dammam, 31441

4 Anhui Promotion Center for Technology Achievements Transfer, Anhui Academy of Science and Technology, Hefei, 230088

Abstract: Enriching the soil with organic matter such as humic and fulvic acid to increase its content

[收稿日期] 2024-06-03

[作者简介] 王雅婷, 女, 1995 年生, 研究实习员, 主要研究方向: 分析化学, E-mail: 18895305966@163.com。

available nutrients, improves the chemical properties of the soil and increases plant growth as well as grain yield. In this study, we conducted a field experiment using humic acid (HA), fulvic acid (FA) and recommended dose (RDP) of phosphorus fertilizer to treat *Hordeum vulgare* seedling, in which four concentrations from HA, FA and RDP (0, 50%, 75% and 100%) under saline soil conditions. Moreover, some agronomic traits (e.g. grain yield, straw yield, plant height, spike length and spike weight) in barley seedling after treated with different concentrations from HA, FA and RDP were determined. As such the beneficial effects of these combinations to improve plant growth, N, P and K uptake, grain yield, and its components under salinity stress were assessed. The findings showed that the treatments HA + 100% RDP (T1), HA + 75% RDP (T2), FA + 100% RDP (T5), HA + 50% RDP (T3) and FA + 75% RDP (T6), improved 1000-grain weight, grain yield, harvest index, the amount of uptake of nitrogen (N), phosphorous (P) and potassium (K) in straw and grain. The increase for grain yield over the control was 64.69%, 56.77%, 49.83%, 49.17% and 44.22% in the first season, and 64.08%, 56.63%, 49.19%, 48.87% and 43.69% in the second season. Meanwhile, the increase for grain yield when compared to the recommended dose was 22.30%, 24.35%, 11.27%, 10.78% and 7.11% in the first season, and 22.17%, 25.06%, 11.08%, 10.84% and 6.99% in the second season. Therefore, under salinity conditions the best results were obtained when, in addition to phosphate fertilizer, the soil was treated with humic acid or foliar application the plants with fulvic acid under one of the following treatments: T1, T2, T5, T3 and T6. The result of the use of organic amendments was an increase in the tolerance of barley plant to salinity stress, which was evident from the improvement in the different traits that occurred after the treatment using treatments that included organic amendments (humic acid or fulvic acid).

Key words: barley; humic acid; potassium humate; fulvic acid; salinity

大麦 (*Hordeum vulgare*) 是埃及乃至世界上最重要的谷类作物之一。此外, 它还是世界上产量第五高的谷类作物之一, 也是适应性最强的谷类作物之一, 因为它具有适应不同农业气候条件和多样化土壤特性的能力。就营养重要性而言, 大麦是埃及第四大粮食作物, 2017 年种植面积达 31612 公顷, 总产量 115478 吨, 平均产量 3.653 吨 / 公顷。因大麦能在许多不适合生产小麦等其他粮食作物的低温、干旱、盐碱化的边缘环境中生长和生产, 这使得大麦变得更加重要。2017 年, 全球大麦种植面积达 4700 万公顷, 总产量 1.474 亿吨 / 年, 平均产量 3.136 吨 / 公顷。世界农业面临着许多挑战, 包括需要增加 70% 的粮食产量以满足人口的持续增长。然而, 随着自然资源的消耗, 需要以更有效的方式最大限度地利用和保护自然资源, 以适应气候变化并消除贫困和饥饿。最大的挑战还包括土壤盐碱化和灌溉用水问题, 这在埃及等半干旱地区更为严重。

盐分会对植物及其生长产生多种负面影响, 因为它降低了植物的光合作用速率, 减少了植物对重要营养物质的吸收, 减少了干物质的积累。土壤中盐分积累的负面影响之一是它减少了水分和离子从土壤到植物的运输。盐分对植物造成的危害还包括: 生长速度下降, 从而导致盐胁迫下植株高度、叶片数、芽数、地上部鲜重和干重及产量的降低。此外, 盐浓度的增加会导致大麦叶片含水量、光合作用、生长、养分吸收、植物生产力及对 N、P、K 吸收的显著降低。灌溉水中氯化钠 (NaCl) 浓度的增加也会导致植物组织中 Mg、Ca 和 N 浓度的降低。盐胁迫通过对植物光合作用、养分 - 矿物质平衡、抗氧化代谢、渗透压积累、脯氨酸和激素信号等生化反应和许多生理过程产生负面影响, 导致植物生长减缓。

有机改良是一种对农业、环境和经济都有益的做法, 这种方法已经在多项研究中得到了证实和应用。使用有机改良剂的优点之一是它有助于实现农



业的可持续发展,特别是在集约化种植系统中。近年来,有机改良剂的重要性日益凸显。腐植酸是土壤中最活跃的成分之一,是腐殖质和有机质的主要组成部分。施用腐植酸可以增加土壤有机碳含量、阳离子交换量和 pH。施用腐植酸和黄腐酸还可以改善土壤的物理、生物和化学性质,从而增加植物的养分有效性,改善果实品质,以生态和环保的方式提高土壤肥力,刺激和增强植物酶/激素的活性,减少土传病害。有机改良剂可以改善土壤的化学和物理性质,它们通过提供养分,尤其是 N 和 P,改善矿质养分状况,从而提高盐碱土中植物的生长和植物生产力;有机改良剂还可以增加改善土壤性质,增强土壤持水能力,为微生物分解提供基质(微生物分解又为植物提供矿物质营养),因此在土壤生态系统中发挥重要作用。有研究表明,施用腐植酸提高了盐胁迫下植株的生长、光合作用、抗氧化酶活性、干重、生产力以及 N、P、K、Ca、Mg、Na、Fe、Zn 和 Mn 的含量,这是因为它通过增加细胞膜的渗透性,极大地促进了元素从土壤向植物的转移。此外,众所周知,K 是植物大多数生理过程所必需的一种大量营养元素,在缓解干旱和盐胁迫方面发挥着重要和积极的作用。

Schnitzer 和 Khan 研究表明,土壤有机质主要由腐殖质组成,约占总有机质的 60% ~ 70%。腐植酸处理的一个好处是,它可以减少周期性干湿对土壤结构稳定性的影响。此外,它在很大程度上起着保持土壤孔隙度的作用,而孔隙度是土壤结构和生产能力的重要组成部分。以往的研究表明,腐殖质对植物生长和生产力影响取决于一些因素,包括分子质量。其中低分子的腐殖质组分是首选,因为低分子量组分容易到达植物细胞的细胞液中,更有益于营养物质的吸收,特别是硝酸盐,从而对植物生长产生积极影响。然而,到目前为止,腐殖质对中间代谢物的影响仍不清楚,但它可能对呼吸和光合作用都有影响。Nardi 等研究表明,腐殖质的刺激作用与促进植物对 N、P 和 S 等大中量营养元素以及 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等微量营养元素的吸收直接相关。在作物上施用腐植酸和黄腐酸的效果通常与促进根系形成和改善根系生长有关。通过对腐植

酸和黄腐酸及其对植物影响的大量研究表明,腐植酸和黄腐酸是一种有机生物刺激剂,对植物生长有显著影响,并能提高生产力和粮食产量。

本研究旨在探讨在盐碱地条件下,腐植酸或黄腐酸与不同比例磷肥对大麦产量及其构成因素的影响,以期减少盐胁迫的危害,并研究在多大程度地减少磷肥施用量并提高大麦产量。研究假设在盐碱地条件下,在不同用量的过磷酸钙磷肥的基础上添加腐植酸或黄腐酸,可以减轻盐胁迫对大麦的不利影响,促进大麦生长和提高大麦产量。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于 2018/2019 和 2019/2020 冬季在埃及卡夫拉谢赫省农业研究中心 Sakha 生产部门农场(北纬度 31° 06', 东经 30° 56')进行了 2 次田间试验,研究了推荐用量磷肥(RDP)与 HA(腐植酸钾)或 FA 配施处理对盐碱地条件下大麦农艺性状、产量及其构成因素和养分吸收的影响。根据美国土壤分类,试验地的土壤为盐碱土,表 1 为试验地点土壤的不同特性(表层 0 ~ 30 cm)。2018/2019 和 2019/2020 大麦生长季节的该地点的月平均气候数据见表 S1。表 2 为试验用 HA 和 FA 的一些化学性质和组成。

1.2 试验设计与管理

试验采用完全随机区组设计(RCBD),共 12 个处理,每个处理设 3 次重复。这些处理包括 HA 用量为 4.75 kg/hm²、FA 用量为 4.75 L/hm²、不添加(对照)以及 4 种推荐剂量磷肥(RDP)的 12 种组合。RDP 用量为 53.57 kg P₂O₅/hm²,即过磷酸钙用量 357.14 kg (15.5% P₂O₅)。试验田面积为 15 m² (5 m × 3 m),共 15 行,每行间隔 0.20 m。氮肥以硝铵(33.5% N)形式施用,施 N 量为 142.86 kg N/hm²,分 3 次等量施用,第 1 次在播种 21 天后施用,第 2 次在播种 35 天后施用,第 3 次在播种 50 天后施用。钾肥第一次施用与氮肥第一次施用同时进行。两季大麦均在 12 月 1 日播种,播种量为 119 kg/hm²。

表 1 试验地点土壤的物理和化学性质

Tab.1 The physical and chemical properties for the soil of study site

生长季	物理性质			化学性质										
	沙子 含量 (%)	盐 含量 (%)	粘粒 含量 (%)	pH	EC (dS/m)	SAR	ESP	可溶性阳离子 (meq/100 土)				可溶性阴离子 (meq/100 土)		
								Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
2018/2019	28.34	23.45	48.21	8.21	10.53	18.64	42.23	43.4	1.14	9.86	29.63	58.3	40.9	14.3
2019/2020	25.32	26.44	48.24	8.22	10.65	18.76	42.21	43.7	1.15	9.88	29.65	58.6	40.3	14.6

表 2 试验用 HA 和 FA 的一些化学性质和组成
Tab.2 Some chemical properties and compositions of
HA and FA used in the experiment

性质	HA	FA
pH	5.64	1.58
EC (dS/m)	0.1	0.11
HA 含量 (%)	85	—
FA 含量 (%)	3	85
K ₂ O (%)	12	10
K (%)	10	10
有机 N (%)	1	0.38
速效 N (ppm)	1.72	0.54
速效 P (ppm)	0.23	0.17
速效 K (ppm)	1.95	1.87

两季大麦前茬作物均为水稻。所有其他田间管理措施均按照埃及农业部推荐的大麦种植技术建议进行。

1.3 研究方法

在收获前和播后 120 天, 每个试验小区随机选择 10 株植株, 测定株高 (cm)、穗长 (cm)、穗重 (g)、千粒重 (g) 和穗粒数。然后将每个试验小区的所有植株收获并分成秸秆和籽粒, 以确定和估算每公顷秸秆和籽粒产量。

从所有试验处理中获得籽粒和秸秆样品, 在 65 °C 下烘干至恒重, 之后捣碎。根据 Bates 等的测定方法测定脯氨酸含量。采用 AOAC 微量凯氏定氮法测定秸秆和籽粒全 N 含量 (N%)。采用 Chapman 和 Parker 描述的氯化亚锡还原磷钼蓝比色法测定磷含量 (P%)。采用 Page 等的火焰光度

法测定 K 含量 (K%)。分别用籽粒或秸秆产量与其 N%、P% 和 K% 的含量相乘计算 N、P、K 吸收量 (kg/hm²)。

1.4 统计分析

采用 Casella 提出的完全随机区组设计的方差分析 (ANOVA) 进行统计分析。使用 Costat 软件 6.303 版。采用 Duncan 多重检验对各处理平均值进行差异显著性 ($P < 0.05$) 分析。

2 结果

2.1 农艺、产量及其构成因素

在 2018/2019 和 2019/2020 两个种植季, 与对照 (不添加) 相比, HA 或 FA 与 4 种不同比例 RDP 配施处理, 对大麦的农艺性状、产量及其构成因素产生了显著影响。

在研究的大多数性状中, 最高值出现 T1 (HA + 100% RDP)、T2 (HA + 75% RDP) 以及 T5 (FA + 100% RDP)、T6 (FA + 75% RDP) 处理 (表 3 ~ 表 6, 图 1 和图 2)。由表 3 可以看出, 在两季中, 施用这些处理对株高和穗长均产生了显著影响。从株高来看, 第二季的 T5、T6、T7 (FA + 50% RDP) 和 T1 处理的株高最高, 比相同磷肥施用量处理 [T9 (100% RDP)、T10 (75% RDP)、T11 (50% RDP) 和 T9] 分别提高了 6.09%、7.57%、7.10% 和 0.96%。

由表 3 还可以看出, 在穗长方面, 第一季的 T1、T2、T3 (HA + 50% RDP) 和 T4 (HA + 0 RDP) 处理平均值最高 (10.76、10.55、10.35 和 9.93 cm), 与相同磷肥施用量处理 [T9、T10、T11 和 T12 (0



RDP)] 相比, 分别增加了 17.60%、18.14%、18.83% 和 19.93%。第二季的 T1、T2、T3 和 T4 处理平均值最高 (10.96、10.75、10.54 和 10.12 cm), 与相同磷肥施用量处理 (T9、T10、T11 和 T12) 相比, 分别增加了 17.60%、18.13%、18.69% 和 20.05%。

图 1 所示, 施用 T1、T2、T3 和 T4 处理获得了最高穗重值, 与相同磷肥施用量处理相比, 第一季的增幅分别为 17.98%、21.74%、25.89% 和 36.03%, 第二季的增幅分别为 18.07%、21.71%、25.87% 和 35.46%。

表 3 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA、FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦株高和穗长的影响
Tab.3 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on plant height, and spike length of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020 cm

处理 编号	处理	株高		穗长	
		2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
T1	HA + 100% RDP	109.72 ± 0.66ab	113.59 ± 2.12bc	10.76 ± 0.52a	10.96 ± 0.21a
T2	HA + 75% RDP	107.51 ± 2.15bc	111.30 ± 2.08bc	10.55 ± 0.21a	10.75 ± 0.21ab
T3	HA + 50% RDP	105.30 ± 0.60bcd	109.01 ± 2.03cd	10.35 ± 0.21ab	10.54 ± 0.49abc
T4	HA + 0 RDP	100.92 ± 0.50d	104.44 ± 1.95d	9.93 ± 0.27abc	10.12 ± 0.32abcd
T5	FA + 100% RDP	115.30 ± 2.02a	119.36 ± 1.10a	9.74 ± 0.35abcd	9.93 ± 0.46abcd
T6	FA + 75% RDP	112.75 ± 1.91ab	116.72 ± 1.93ab	9.65 ± 0.46abcd	9.84 ± 0.37abcd
T7	FA + 50% RDP	110.20 ± 0.88ab	114.07 ± 2.00ab	9.56 ± 0.45abcd	9.75 ± 0.45abcd
T8	FA + 0 RDP	105.09 ± 2.09cd	108.79 ± 1.97c	9.38 ± 0.45abcd	9.56 ± 0.44abcd
T9	100% RDP	108.68 ± 2.65bcd	112.51 ± 3.84ab	9.15 ± 0.43bcde	9.32 ± 0.43bcd
T10	75% RDP	106.75 ± 2.33abc	108.51 ± 3.33c	8.93 ± 0.43bcde	9.10 ± 0.42cd
T11	50% RDP	104.85 ± 3.28cd	106.51 ± 1.91c	8.71 ± 0.41cde	8.88 ± 0.41cd
T12	0 RDP	100.96 ± 1.55d	102.51 ± 1.45d	8.28 ± 0.39de	8.43 ± 0.39d

注: 数值为平均值 ± 标准误差; 不同小写字母表示不同处理间有显著性差异 ($P \leq 0.05$), 下同。

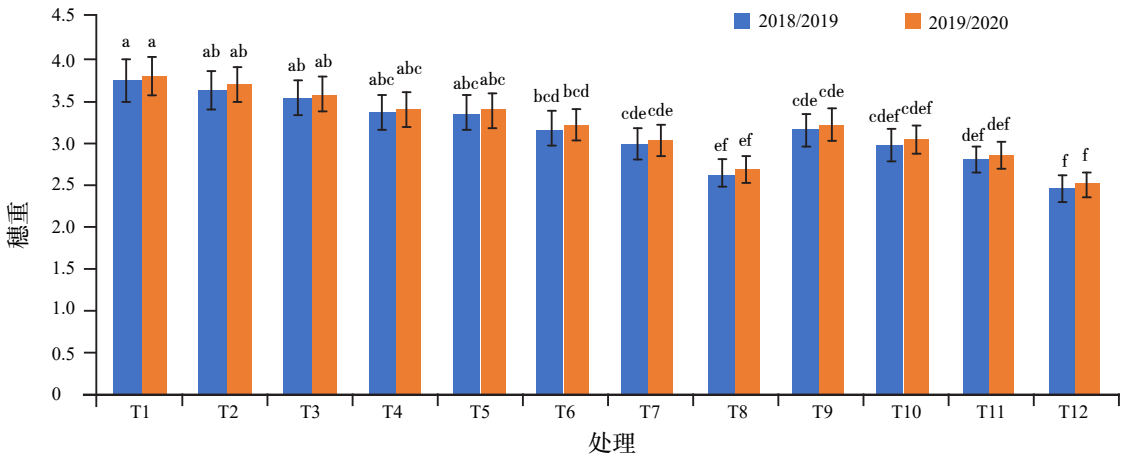


图 1 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA 和 FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦穗重 (g) 的影响
Fig.1 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on spikes weight (g) of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

注: 不同小写字母表示不同处理间有显著性差异 ($P \leq 0.05$), 下同。

由表 4 可以看出, 与相同磷肥施用量的 T9 和 T10 处理相比, 第一季的 T1 和 T2 处理的穗粒数分别提高了 15.63% 和 15.62%, 第二季的 T1 和 T2 处理分别提高了 17.96% 和 17.97%。两季 T1 处理千粒重最大, 其次为 T2、T3 和 T5 处

理。第一季的 4 个处理较相同磷肥施用量处理千粒重分别增加了 10.08%、10.44%、10.83% 和 2.11%; 第二季的 4 个处理较相同磷肥施用量处理千粒重分别增加了 10.08%、10.46%、10.83% 和 2.10% (表 4)。

表 4 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA、FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦穗粒数和千粒重的影响
Tab.4 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on number of grain per spikes and 1000-grain weight of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

处理编号	处理	穗粒数		千粒重 (g)	
		2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
T1	HA + 100% RDP	57.10 ± 2.71a	57.88 ± 2.63a	58.40 ± 1.30a	59.17 ± 1.04a
T2	HA + 75% RDP	55.23 ± 2.62ab	56.00 ± 2.55ab	56.93 ± 1.53ab	57.68 ± 0.97a
T3	HA + 50% RDP	53.38 ± 2.53ab	54.11 ± 2.46abc	55.46 ± 1.18abc	56.19 ± 3.07a
T4	HA + 0 RDP	49.65 ± 2.36abcd	50.34 ± 2.29abcde	52.52 ± 2.41bc	53.21 ± 1.08cde
T5	FA + 100% RDP	54.34 ± 2.58ab	55.09 ± 2.50abc	54.17 ± 2.57bc	54.88 ± 1.58bc
T6	FA + 75% RDP	51.65 ± 2.45abc	52.36 ± 2.38abcd	53.39 ± 1.06bc	53.66 ± 1.07cd
T7	FA + 50% RDP	48.96 ± 2.32abcd	49.64 ± 2.26bcdef	51.75 ± 1.73cd	52.43 ± 1.09cdef
T8	FA + 0 RDP	43.58 ± 2.07de	44.18 ± 2.01fg	49.32 ± 1.52d	49.97 ± 0.92fg
T9	100% RDP	49.38 ± 2.35bcd	50.06 ± 2.27cdef	53.05 ± 2.20bc	53.75 ± 1.07cd
T10	75% RDP	46.82 ± 2.22cde	47.47 ± 2.16defg	51.55 ± 1.72cd	52.22 ± 2.38def
T11	50% RDP	44.27 ± 2.10de	44.88 ± 2.04efg	50.04 ± 0.70cd	50.70 ± 0.94efg
T12	0 RDP	39.17 ± 1.86e	39.71 ± 1.80g	47.04 ± 1.58d	47.65 ± 1.18g

在每公顷籽粒产量方面 (图 2a), T1、T2、T5、T3、T6 处理的籽粒产量最高 (图 2a)。与相同磷肥施用量处理相比, T1 处理的籽粒产量在两季中分别显著增加了 22.30% 和 22.17%; T2 处理的籽粒产量在两季中分别显著增加了 24.35% 和 25.06%; T5 处理的籽粒产量在两季中分别增加了 11.27% 和 11.08%; T3 处理的籽粒产量在两季中分别显著增加了 10.78% 和 10.84% (图 2a); T6 处理的籽粒产量在两季中分别增加了 7.11% 和 6.99%。

相反, 施用 HA 处理的 T1、T2、T3、T4 秸秆产量在两季中均无显著差异, 与相同磷肥施用量处理相比, 第一季秸秆产量分别增加了 22.43%、30.78%、40.42% 和 65.19%, 第二季秸秆产量分别增加了 22.20%、30.89%、40.37% 和 65.05% (图 2b)。施用 FA 处理的 T5 和 T6, 与相同磷肥施用

量处理相比, 第一季秸秆产量分别增加了 11.21% 和 11.01%, 第二季秸秆产量分别增加了 14.31% 和 14.48%。

表 5 所示的数据表明, 大麦生物产量受 HA 或 FA 配施不同比例 RDP 的影响。T1 处理的生物产量在两季均最高, 在相同磷肥施用量处理下, 两季增幅分别为 22.37% 和 22.42%。T2、T3、T4、T5 和 T6 处理两季大麦的生物产量依次递减, 仅次于 T1 处理。

从表 5 的结果可以看出, HA、FA 和不同比例 RDP 配施对大麦的收获指数无显著影响。

由图 3 可以看出, 脯氨酸含量在第一季和第二季分别以 T1、T2、T5 和 T3 处理最高 (图 3)。可见, 所有处理植物的脯氨酸积累都有所增加, 使得植物对盐胁迫的耐受性增强。

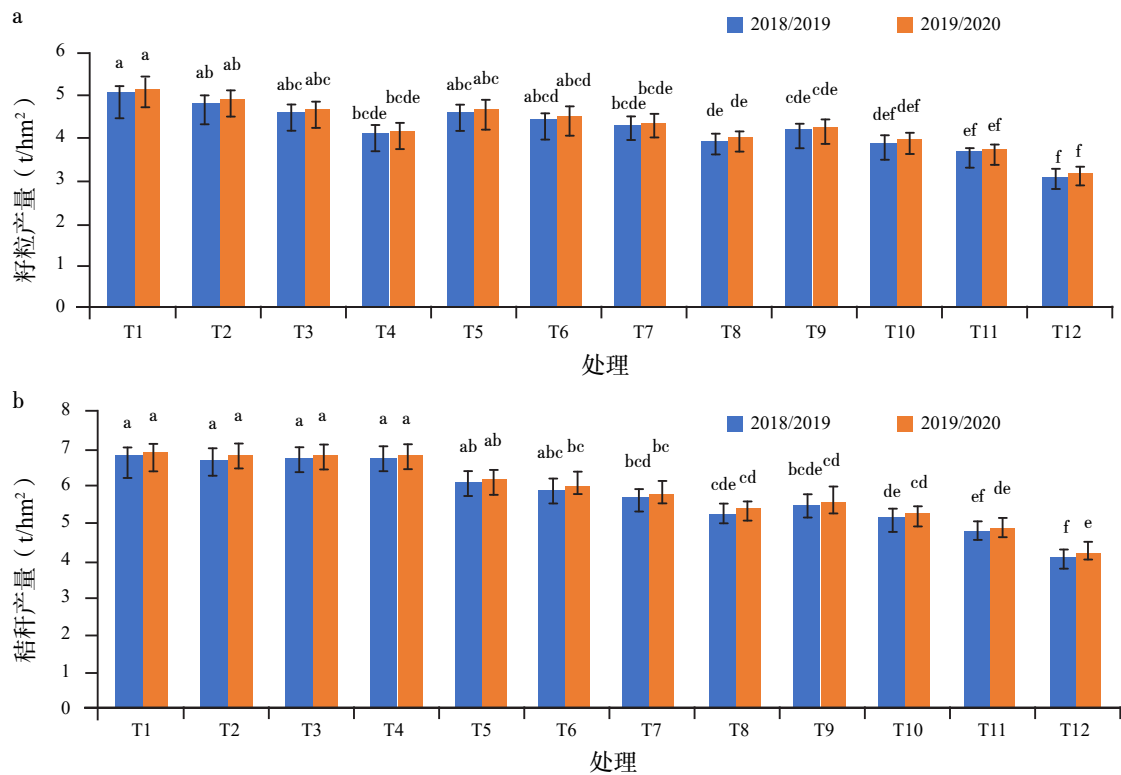


图 2 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA 和 FA 以及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦籽粒和秸秆产量的影响

Fig.2 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on grain and straw yield of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

表 5 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA、FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦生物产量和收获指数的影响

Tab.5 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on biological yield and harvest index of barley y cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

处理编号	处理	生物产量 (t/hm ²)		收获指数	
		2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
T1	HA + 100% RDP	11.65 ± 0.69a	11.85 ± 0.54a	42.77 ± 0.66a	42.83 ± 0.02abcd
T2	HA + 75% RDP	11.42 ± 0.67a	11.61 ± 0.53ab	41.54 ± 0.73ab	41.67 ± 0.00d
T3	HA + 50% RDP	11.19 ± 0.53ab	11.37 ± 0.51ab	40.36 ± 0.01c	40.41 ± 0.03e
T4	HA + 0 RDP	10.73 ± 0.50abc	10.90 ± 0.49ab	37.65 ± 0.01d	37.60 ± 0.48f
T5	FA + 100% RDP	10.59 ± 0.50abc	10.76 ± 0.49abc	42.88 ± 0.03ab	42.82 ± 1.13cd
T6	FA + 75% RDP	10.21 ± 0.49abcd	10.38 ± 0.47abc	42.84 ± 0.03ab	42.88 ± 1.07a
T7	FA + 50% RDP	9.83 ± 0.47bcde	10.00 ± 0.46bcd	42.77 ± 0.81b	42.79 ± 0.59abc
T8	FA + 0 RDP	9.09 ± 0.43def	9.24 ± 0.42de	42.71 ± 0.04ab	42.70 ± 0.04bcd
T9	100% RDP	9.52 ± 0.46cdef	9.68 ± 0.44cde	42.83 ± 0.01ab	42.91 ± 0.64abc
T10	75% RDP	8.91 ± 0.43ef	9.06 ± 0.41de	42.83 ± 0.03ab	42.78 ± 0.63abc
T11	50% RDP	8.30 ± 0.39fg	8.44 ± 0.38ef	42.73 ± 0.02ab	42.88 ± 0.67ab
T12	0 RDP	7.08 ± 0.34g	7.20 ± 0.33f	42.82 ± 0.04ab	42.94 ± 0.88ab

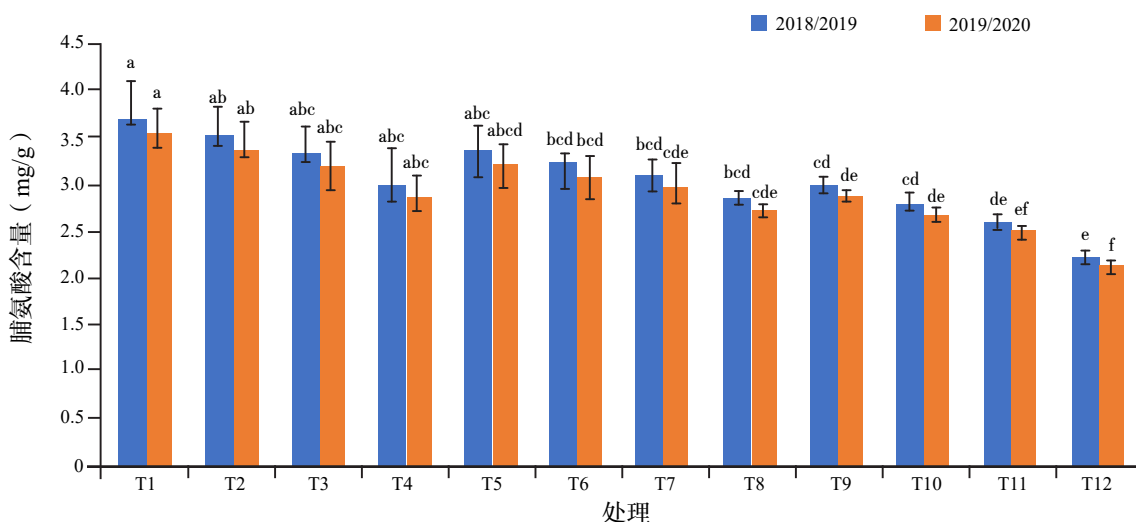


图 3 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA、FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦脯氨酸含量的影响

Fig.3 The effects of treatments with HA or FA and different rates of the RDP on proline content of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

2.2 大麦籽粒和秸秆的营养吸收

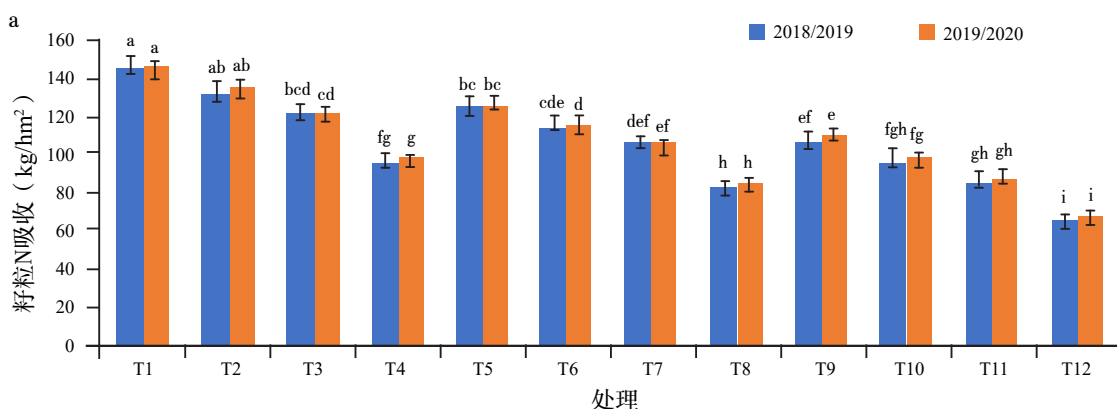
在 2018/2019 和 2019/2020 两季，HA、FA 和不同比例 RDP 配合施用，对籽粒中 N、P、K 含量（即植物对这些元素的吸收）产生了显著的统计学差异（图 4a、b 和 c）。T1、T2、T5、T3 和 T6 处理的籽粒 N 吸收量最高，而 T12 处理的 N 吸收量最低。与相同磷肥施用量处理（T9、T10、T9、T11 和 T10）相比，第一季的增幅分别为 34.70%、36.64%、16.41%、39.07% 和 18.03%（图 4a），第二季的增幅分别为 34.69%、36.66%、39.06%、16.42% 和 18.04%。

在两季中，T1、T2、T5、T3、T6 和 T7 处理大麦籽粒 P 吸收量最高（图 4b）。与相同磷肥施

用量处理（T9、T10、T9、T11、T10 和 T11）相比，第一季的增幅分别为 53.17%、63.78%、28.42%、78.80%、39.46% 和 54.96%，第二季的增幅分别为 53.17%、63.92%、28.40%、78.81%、39.59% 和 55.14%。

此外，在两季中，T1、T2、T3、T5 和 T6 处理大麦籽粒 K 吸收量最高（图 4c）。与相同磷肥施用量处理（T9、T10、T11、T9 和 T10）相比，第一季的增幅分别为 64.85%、68.47%、73.12%、21.13% 和 27.42%，第二季的增幅分别为 64.80%、68.46%、73.11%、21.09% 和 27.44%。

所有 HA 或 FA 与不同比例 RDP 配施处理对两季大麦秸秆 N、P、K 含量有显著影响（表 6）。



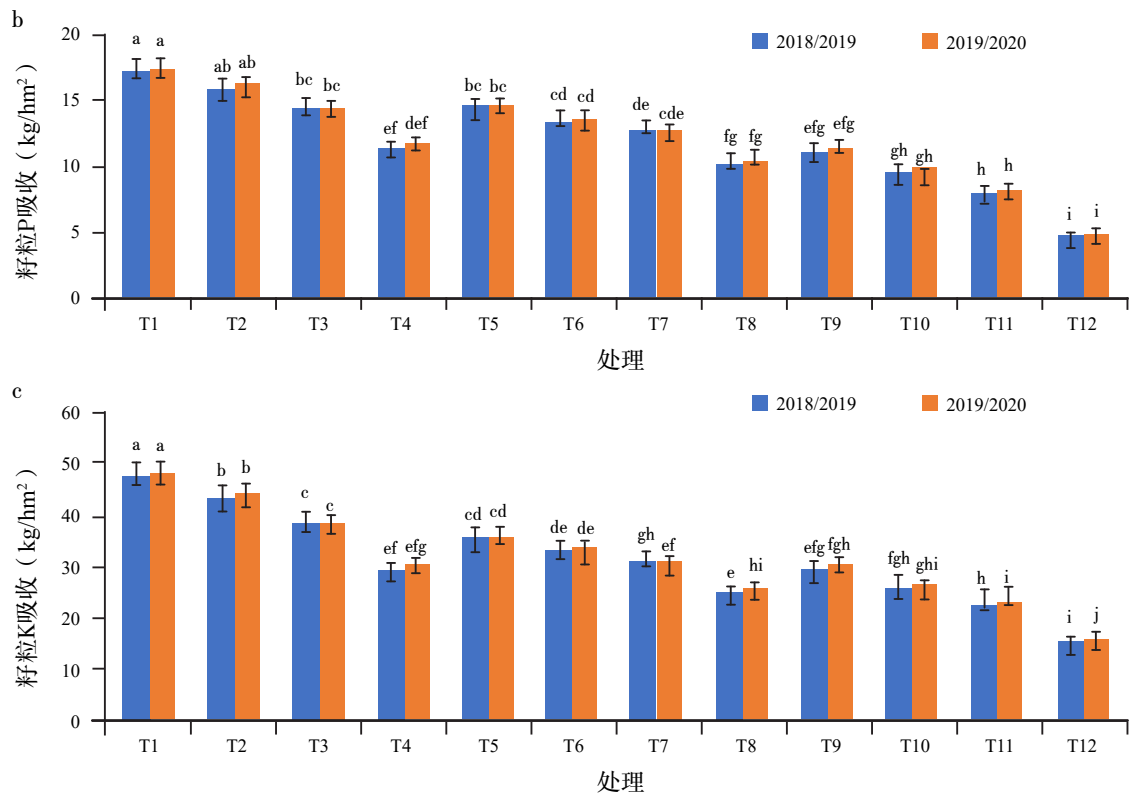


图 4 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA 和 FA 以及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦籽粒 N、P 和 K 吸收的影响

Fig.4 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on the uptake of N, P and K in grain of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

表 6 2018/2019 和 2019/2020 两季 HA 和 FA 及不同比例 RDP 处理对吉萨 123 大麦秸秆 N、P、K 吸收的影响

Tab.6 The effects of treatment with HA or FA and different rates of the RDP on the uptake of N, P and K in straw of barley cultivar Giza 123 in the seasons 2018/2019 and 2019/2020

处理 编号	处理	速效 N		速效 P		速效 K	
		2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
T1	HA + 100% RDP	101.99 ± 4.84a	103.33 ± 2.96a	16.20 ± 0.77a	16.42 ± 0.76a	41.94 ± 1.99a	42.49 ± 1.96a
T2	HA + 75% RDP	93.17 ± 4.42ab	94.41 ± 1.56b	15.17 ± 0.72ab	15.37 ± 0.71ab	36.97 ± 1.75b	37.45 ± 1.73b
T3	HA + 50% RDP	84.36 ± 4.00bc	85.47 ± 1.06bc	14.12 ± 0.67bc	14.31 ± 0.65bc	31.99 ± 1.52cd	32.41 ± 1.50cd
T4	HA + 0 RDP	66.73 ± 3.17ef	67.61 ± 1.12e	12.05 ± 0.57def	12.21 ± 0.57def	22.03 ± 1.05g	22.32 ± 1.03g
T5	FA + 100% RDP	85.51 ± 4.06bc	86.62 ± 2.27c	13.71 ± 0.65bcd	13.88 ± 0.64bcd	34.30 ± 1.63bc	34.75 ± 1.60bc
T6	FA + 75% RDP	78.13 ± 3.71cd	79.16 ± 2.46d	12.97 ± 0.62cde	13.14 ± 0.60cde	31.00 ± 1.47cde	31.40 ± 1.45cd
T7	FA + 50% RDP	70.77 ± 3.36de	71.69 ± 2.59d	12.23 ± 0.58cde	12.39 ± 0.57de	27.70 ± 1.31de	28.07 ± 1.29de
T8	FA + 0 RDP	56.02 ± 2.66gh	56.75 ± 1.80f	10.77 ± 0.51fg	10.91 ± 0.50fg	21.12 ± 1.01g	21.39 ± 0.98g
T9	100% RDP	64.75 ± 3.07efg	65.61 ± 3.03ef	11.79 ± 0.56efg	11.95 ± 0.55efg	28.01 ± 1.33ef	28.39 ± 1.31ef
T10	75% RDP	58.63 ± 2.78fgh	59.40 ± 2.74fg	10.12 ± 0.48gh	10.26 ± 0.47gh	24.21 ± 1.15fg	24.54 ± 1.13fg
T11	50% RDP	52.50 ± 2.49h	53.19 ± 2.46g	8.46 ± 0.40h	8.57 ± 0.40h	20.42 ± 0.97g	20.69 ± 0.96g
T12	0 RDP	40.26 ± 1.91i	40.79 ± 1.88h	5.12 ± 0.24i	5.19 ± 0.24i	12.81 ± 0.61h	12.81 ± 0.61h

由表 6 可以看出, 两季 T1、T2、T5、T3、T6、T7 和 T4 处理大麦秸秆 N 的吸收量最高, 比相同磷肥施用量处理 (T9、T10、T9、T11、T10、T11 和 T12) 均有提高; 第一季的增幅分别为 57.51%、58.91%、32.06%、60.69%、33.26%、34.80% 和 65.75%, 第二季的增幅分别为 57.49%、58.94%、32.02%、60.69%、33.27%、34.78% 和 65.75%。

两季 T1、T2、T3、T5 和 T6 处理大麦秸秆对 P 的吸收量最高 (表 6), 而 T12 处理的 P 吸收量最低。与相同磷肥施用量处理 (T9、T10、T11、T9 和 T10) 相比, 第一季的增幅分别为 37.40%、49.90%、66.90%、16.28% 和 28.16%, 第二季的增幅分别为 37.41%、49.81%、66.98%、16.15% 和 28.07%。

最后, 两季 T1、T2、T5、T3 和 T6 处理大麦秸秆 K 吸收量最高 (表 6)。同时, T12 处理大麦秸秆 K 吸收量最低。与相同磷肥施用量处理 (T9、T10、T9、T11 和 T10) 相比, 第一季的增幅分别为 49.73%、52.71%、22.46%、56.66% 和 28.05%, 第二季的增幅分别为 49.67%、52.61%、22.40%、56.65% 和 27.95%。

3 讨论

3.1 农艺性状和产量性状

盐胁迫对植物有许多负面影响, 它通常通过影响光合作用等生理过程减缓植物生长, 例如降低叶片光合色素含量、激素和酶活性等, 进而抑制光合作用, 导致大麦在盐胁迫条件下籽粒产量显著降低。这种生长的减缓很可能是由于渗透压、离子毒性、营养吸收的限制、光合作用减弱以及植物组织中 Na^+ 的积累等因素造成的。在本研究中, 与对照组相比, 腐植酸钾 (HA) 或 FA 处理提高了盐胁迫下植物的生长速率及其参数。

施用 T1、T2、T3、T5 处理对所研究性状的影响最大, 其次是 T6 和 T7 处理。与对照组 (不施用 HA 或 FA) 相比, 施用 HA 或 FA 显著改善了农艺性状、产量及其构成因素。可见, 添加 HA 或

FA 等有机改良剂可以提高土壤肥力, 增加土壤中的有效养分, 改善土壤的化学性质, 从而促进植物的生长, 提高植物生产力。

在盐碱地条件下, 施用有机改良剂 (无论是 HA 还是 FA) 处理均能改善大麦的农艺性状, 使大麦植株性状高于对照处理或 RDP 处理, 而 T5、T6 和 T7 处理的大麦株高分别比对照 (T12) 增加了 16.44%、13.86% 和 11.28%。与对照组处理相比, HA 处理大大增加了植株的株高, HA 和 FA 处理均显著提高了大麦产量及其构成因素, 且 HA 处理优于 FA 或对照组。这些促进作用可能归因于腐殖质, 腐殖质是土壤有机质的主要成分 (65% ~ 70%), 通过增加细胞膜通透性, 促进 O 和 P 的吸收, 增强呼吸和光合作用以及为根细胞的生长提供养分等多种原因, 能极大地促进植物生长。在植物中, HA 的效果十分明显。

此前, 大量研究表明腐植酸对作物生长、增产和养分吸收具有积极的刺激作用。腐植酸或黄腐酸的使用会产生多种效应, 包括直接效应或间接效应。间接效应主要通过增加土壤养分、增加阳离子交换容量 (CEC)、增加微生物种群和改善土壤结构等特性实现; 而直接效应则直接作用于细胞膜、细胞壁或细胞质, 引发一系列生化反应, 影响并不明显, 主要是激素性质。在许多研究中, 腐植酸的类激素活性已得到很好的证明, 特别是生长素、赤霉素和细胞分裂素。这是由于有机改良通过不同且不相相互排斥的机制对产量产生积极影响, 其中包括提供矿物质养分, 且使用有机改良处理可以显著改善大麦植株的生长参数和产量。

有机质在土壤生态系统中发挥着巨大而重要的作用。土壤为微生物分解提供底物 (反过来又为植物提供矿质养分), 并改善土壤持水能力和土壤结构。养分的快速有效性, 特别是 N 的释放和矿化动力学模式, 解释了这一点。腐植酸钾在促进植物生长方面的积极作用是由于其增加了生长介质中的有机质含量, 进而提高了保水能力和水分有效性, 保存了矿质养分和其有效性, 并增强了植物根系对矿物质养分的吸收。此外, 腐植酸钾在促进植物生长方面更为有效, 这归因于



K 对植物中多种酶的控制作用,而且腐植酸钾作为生物刺激物也发挥着重要作用。在非生物胁迫下,植物通过多种机制来缓解这些胁迫。其中一种机制是增强抗氧化酶的活性,如过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POX)、超氧化物歧化酶(SOD)和脯氨酸等,这些酶在清除活性氧(ROS)方面起着非常重要的作用。已有多项研究证实,在盐胁迫条件下,腐植酸钾处理可增加抗氧化酶(CAT、SOD 和 POX)的活性。

灌溉水的盐度或大麦生长土壤的盐度会导致株高、穗数、千粒重和籽粒产量下降。但与此同时,总叶绿素、相对含水量、叶片渗透势、脯氨酸和 K 含量被认为是耐盐性的生化参数。很多早期研究证实,脯氨酸含量和积累不仅是大麦耐盐性的最重要生理指标之一,还与渗透耐受性和盐胁迫有关,在所研究的耐盐基因型中,脯氨酸浓度随盐胁迫的增加而增加,并且随着胁迫的加剧呈渐进性变化。Misra 和 Gupta 还发现,游离脯氨酸积累量与耐盐性之间存在正相关关系,可作为确定品种耐盐潜力的一项指标,而且耐盐品种中游离脯氨酸积累的增加幅度高于敏感品种。脯氨酸在减少盐的破坏作用和加速应激后的修复过程中起着重要作用,这是因为脯氨酸是众多相容性溶质中唯一可以作为自由基清除剂并具有抗氧化活性的分子。脯氨酸能够稳定蛋白质和 DNA 以及细胞膜结构。研究表明,在盐胁迫下,耐盐植物中高浓度的脯氨酸可能有助于维持细胞大分子的结构和功能。许多报道也表明,脯氨酸作为一种渗透保护剂,与植物在盐胁迫下的耐受性机制有关。除了作为渗透调节物质,脯氨酸还具有酶保护作用并增强膜的稳定性。许多研究还发现,在腐植酸处理和其他提高植物耐盐性的处理下,脯氨酸的积累与耐盐性和 / 或渗透耐受程度有关。

本研究结果表明,与对照处理相比,在盐胁迫下,HA 和 FA 处理的植物脯氨酸浓度均有所增加,与相同磷肥施用量但不添加 HA 或 FA 的处理相比,结果亦是如此。这表明,这些处理增强了大麦植株对盐的耐受能力,并以更好的方式适应盐胁迫,而脯氨酸作为一种代谢产物,通过调节渗透来增强植

物对盐的耐受性。

3.2 大麦对养分的吸收和利用

在盐胁迫条件下,重要的营养物质对高等植物耐盐胁迫起着至关重要的作用。营养物质的有效性可能受到盐胁迫的影响,导致某些营养物质供应不足或不可用。在本研究中,HA 或 FA 处理显著提高了大麦对 N、P 和 K 的吸收。与对照相比,HA 或 FA 处理显著提高了速效 N 含量,提高了 N 的有效性。因此,采用有机改良剂处理可增加大麦 N 的吸收。

从本研究结果来看,对籽粒和秸秆 N 吸收量影响最大的处理依次为 $T1 > T2 > T5 > T3 > T6$ 。与对照相比,在盐胁迫条件下,HA 或 FA 处理显著增加了土壤中速效 P 的含量,从而促进植物对 P 的吸收。根据对籽粒和秸秆 P 吸收量影响最大的处理依次为 $T1 > T2 > T3 > T5 > T6$ 。与对照相比,HA 或 FA 处理也显著增加了土壤速效 K 的含量,促进了植物对 K 的吸收,根据对籽粒和秸秆 K 吸收量影响最大的处理依次为 $T1 > T2 > T5 > T3 > T6$ 。已有研究表明,腐植酸钾处理可通过增加植物对元素的吸收、促进植物生长和激发植物胁迫防御系统来减轻盐胁迫的有害影响。在本研究中,试验的有机改良剂类型(包括 HA 或 FA),影响了 N、P、K 的有效性和吸收量,其中在元素吸收量方面 HA 比 FA 更有效。

有研究已经表明了土壤有机质的重要性,它是土壤中有效 N 的主要来源。此外,它含有约 65% 的土壤总 P,它还提供了植物生长所需的大量 S 和其他营养元素。盐胁迫对植物生长和植物组织中元素的吸收和积累的负面影响已被证实和熟知。众所周知,盐胁迫会导致植物对营养物质(N、P、K、Ca、Mg 等大中量和微量元素)的吸收不足,而 Na 和 Cl 的含量过高则会导致营养物质的有效性降低。

在本研究中,盐胁迫降低了大麦中 K^+ 的含量,但施用 HA 或 FA 的处理增加了大麦籽粒和秸秆中的 K^+ 含量。saidimuradi 等也得出了类似的结果,他们发现盐胁迫降低了植物对 K^+ 的吸收,但保持了植物体内足够的 K^+ 水平以减轻盐胁迫的不利影

响。在盐胁迫条件下，施用 HA 处理及其组合处理降低了叶片中 Na^+ 的含量，也导致了叶片中 K^+ 含量的增加。此外，土壤施用腐植酸钾也提高了植物芽和茎对 K 的吸收，并减少对 Na 的吸收。本研究所用 HA 材料含有 K^+ ， K^+ 能够增强植物的耐盐性，因为它在结合能力和维持植物水分状态方面与 Na^+ 存在竞争关系。施用 HA 后，腐殖质吸收了 Na^+ ，这有助于减少植物地上部分的 Na 含量，并使根系吸收更多的 K^+ 。

最后，HA 作为土壤的重要组成部分，能够维持土壤的健康和生产能力、保持水分和有机溶解物中的原子、结合矿物离子并影响土壤各种反应、刺激植物生长，还能对污染物进行生物转化。此外，HA 还能提高土壤的持水能力，从而提升土壤肥力。

4 结论

从本研究结果可以看出，施用 HA 或 FA 配施不同比例 RDP 表明，HA 与磷肥配施是提高养分

有效性、促进养分吸收和植物生长的有效手段，这可能是大麦耐盐性提高、生长及产量提升的原因，特别是在盐碱地中。结果表明：T1（HA + 100% RDP）、T2（HA + 75% RDP）、T5（FA + 100% RDP）、T3（HA + 50% RDP）和 T6（FA + 75% RDP）处理能显著改善大麦的大多数研究性状，提高大麦的籽粒产量。与相同磷肥施用量处理相比，第一季籽粒产量分别提高了 22.30%、24.35%、11.27%、10.78% 和 7.11%，第二季籽粒产量分别提高了 22.17%、25.06%、11.08%、10.84% 和 6.99%。

因此，建议在盐碱地条件下，施用 HA 和一定比例的 RDP，即 T1（HA + 100% RDP）、T2（HA + 75% RDP）、T3（HA + 50% RDP），这样既可以提高盐胁迫条件下大麦的生长和产量，又能节约 25% ~ 50% 的磷肥。

致谢、基金、参考文献等（略）

译自：BMC Plant Biology, 2024, 24: 191。

理事长新语：救赎土壤生命，缔造“微房子”

——坚决捍卫《世界土壤宪章》即“土壤为地球生命之本”

（一）

“土壤生命”在哪里，就在“微团粒”里。
先前大家这样说，“团粒结构”是土壤最宝贵的结构。

如今情势危急，救赎“土壤生命”必须加快缔造“微房子”。

有了“微房子”，“土壤生命”就有了“归宿”。

（二）

营造土壤的“微房子”，贵在聚合“微团粒”。

“腐植酸”在，“微团粒”在；“腐植酸”散，“微团粒”散。

“微团粒”在，“土族”在；“微团粒”散，

“土族”散。

“微团粒”就是“微房子”；缔造“微房子”，反哺腐植酸，当真？！

（三）

一粒“微房子”，情系“土壤生命”数以万计。

救赎“土壤生命”，速递“团粒宝贝”、优化肥料家族，携手进入土壤，整装“微房子”。

在光复“土壤生命”中，让“腐植酸·团粒宝贝—微团粒·微房子—微生命”永续土壤活力。

如是“反哺”，专业救赎，粒粒资生，方化大地。

（2015 年 8 月 17 日曾完成题）