不同植物生长调节剂对冬小麦苗期根系生长的影响

韩锐锋 马文豪 董向阳 方甜甜 张书红 *
河南心连心化学工业集团股份有限公司 新乡 453731

摘　要：探究不同植物生长调节剂对冬小麦苗期生物量、根系生长发育的影响，以期为采用化学措施调控冬小麦根系生长提供理论依据。试验以水培方式，水施 8 种植物生长调节剂，以蒸馏水为对照（CK），通过测定冬小麦株高、根干重及根系形态指标对比不同调节剂应用效果。结果表明：与 CK 相比，除施用氨基酸等衍生物处理（T7）外，其余处理冬小麦苗期的根系形态均有不同程度改善，其中施用吲哚甲酯胺（T4）及腐植酸钾（T8、T9）的冬小麦根长、根表面积及根系体积均优于其他处理；施用低浓度腐植酸钾（T8）时，较其他调节剂能够增加冬小麦苗期根长、根系体积及根表面积，增加腐植酸浓度后（T9）会继续促进冬小麦苗期地上部生物量的积累；利用隶属函数对各处理生物量、根系形态指标进行综合评价，筛选出 T4 和 T9 处理具有较优效果。

关键词：冬小麦；植物生长调节剂；生物量；根系形态
中图分类号：S512，S482.8　　**文章编号：**1671-9212(2024)03-0042-06
文献标识码：A　　**DOI：**10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2024.03.007

Effects of Different Plant Growth Regulators on the Root Growth of Winter Wheat Seedlings Stage

Han Ruifeng, Ma Wenhao, Dong Xiangyang, Fang Tiantian, Zhang Shuhong*
Henan Xinlianxin Chemical Industry Group Co. Ltd., Xinxiang, 453731

Abstract: In order to explore the effects of different plant growth regulators on the biomass and root growth and development of winter wheat seedlings stage and provide scientific theoretical basis for the application chemical measures to regulate winter wheat root growth. The hydroponic cultivation experiments with 8 plant growth regulators applied were adopte, and the application effects of different regulators were compared by the plant height, root dry weight, and root morphology indicators of winter wheat. Distilled water was used as the control (CK). The results showed that, except for the application of amino acid derivatives (T7), the root morphology of the other plant growth regulators during the of winter wheat seedlings stage was improved to varying degrees compared with CK. The application of indolyl methyl amine (T4) and potassium humate (T8, T9) resulted in better root length, root surface area, and root volume than other treatments among them. Compared with the other regulators, the application of low concentration potassium humate (T8) could increase the root length, root volume, and root surface area of winter wheat seedlings stage and the increase in the concentration of humic acid (T9) could continue to promote the accumulation of aboveground biomass in winter wheat seedlings stage. Membership functions were used to evaluate comprehensively the biomass and root morphology indicators of each treatment, it was found that the application of T4 and T9 treatments had better effects.

Key words: winter wheat; plant growth regulator; biomass; root morphology

---

［收稿日期］2024-02-02
［作者简介］韩锐锋，男，1998 年生，硕士，主要从事高效施肥技术研究，E-mail：1399521610@qq.com。*通讯作者：张书红，女，农艺师，E-mail：zhshhong00@163.com。

冬小麦根系具有支撑、合成、固定等作用，是吸收水分、氮素等营养的主要器官[1]，根系指标包括作物根系的形态及空间分布[2]。根系形态指标与土壤养分含量、土壤温湿度等诸多因素有关，而促进植物体内生长素的合成对不定根及侧根的生长具有重要作用。在植物生长调节剂中，萘乙酸、吲哚乙酸、吲哚丁酸等能够促进生长素类化合物的合成，具有改善作物根系形态，调节植物生长发育的作用[3，4]。目前，促生根型植物生长调节剂在农业生产中应用较为广泛[5 ~ 7]。王娜等[8]在小麦上施用 0.05 mg/L 的 ABT 复配植物生长调节剂，可提高根长及根系活力，改善根系形态[8]。使用烯效唑干拌种能够提高冬小麦低节位分蘖，通过提高茎蘖成穗率进而提高后期有效穗数[9]。在夏玉米上通过复配施用聚天冬氨酸与吲哚乙酸、萘乙酸，能够协同改善夏玉米的根系形态，促进幼苗生长发育，提高干物质积累量[10]。但目前不同类型植物生长调节剂对冬小麦根系生长发育的影响研究较少，本试验采用水培方式，选取 8 种具有促进根系生长作用的植物生长调节剂，通过分析不同处理冬小麦苗期的生物量、根系形态的变化差异，筛选出适宜冬小麦生长发育的植物生长调节剂，以期为化学调控冬小麦根系生长，提高冬小麦产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2023 年 12 月 5 日—25 日在河南心连心化学工业集团股份有限公司现代农业示范园区（113° 78′ E，35° 12′ N）进行。

1.2 试验材料

供试小麦为强筋冬小麦，品种“豫农 908”。

供试植物生长调节剂共 8 种，均为固态粉末状，主要成分及含量、来源等见表 1。

表 1 不同植物生长调节剂主要成分及含量

Tab.1 Main components and concentrations of different plant growth regulators

试剂名称	试剂类型	主要成分	含量（%）	来源
β - 奈氧乙酸钠	激素 / 类激素物质	β - 奈氧乙酸钠	98	河南神雨生物科技有限公司
福根	激素 / 类激素物质	吲哚类衍生物	98	河南神雨生物科技有限公司
根花多	激素 / 类激素物质	奈多氨聚合物	98	郑州益土精耕生物科技有限公司
劲根	激素 / 类激素物质	吲哚甲酯胺	98	河南旭阳农业科技有限公司
褐藻寡糖	植物源物质	褐藻寡糖	90	中科荣耀生物科技有限公司
复合硝钠	激素 / 类激素物质	复合硝钠	98	河南锦程农业科技有限公司
AAPP 生根剂	植物源物质	氨基酸等衍生物	98	河南锦程农业科技有限公司
腐植酸钾	植物源物质	总腐植酸、黄腐酸钾	90、30	河南黑色生态科技有限公司

1.3 试验设计

试验以水培方式，共设 9 个处理，每个处理 3 次重复。以蒸馏水为培养液设置对照（CK），T1 ~ T9 处理为 8 种植物生长调节剂。其中，T1 处理为 β - 奈氧乙酸钠，施用浓度 15 mg/L；T2 处理为福根，施用浓度 20 mg/L；T3 处理为根花多，施用浓度 20 mg/L；T4 处理为劲根，施用浓度 150 mg/L；处理 T5 为褐藻寡糖，施用浓度 20 mg/L；T6 处理为复合硝钠，施用浓度 20 mg/L；T7 处理为 AAPP 生根剂，施用浓度 20 mg/L；T8 处理为浓度 20 mg/L 的腐植酸钾，T9 处理为浓度 50 mg/L 的腐植酸钾。试验采用 2 L 容量的培养瓶容器，每个培养瓶中放置 30 粒种子，试验至冬小麦三叶期结束。

1.4 测定指标与方法

在冬小麦三叶期，对不同处理的株高、地上部干重、根干重以及根系形态相关指标进行测定。

株高：每个处理中随机选取 15 株，测量从茎基部至幼苗顶部最长叶长度（cm）。

地上部干重、根干重：将各重复中的 30 株根部及地上部分用清水洗净后 105 ℃杀青 30 min，

再 70 ℃烘干至恒重，用电子天平称量，计算总干重（g）。

根系形态相关指标：将各重复中的 30 株剪掉地上部后，根样用 ScanMaker i800plus 根系扫描仪扫描后保存图片，然后用 Win-RHIZO（CAN）根系分析软件分析根系形态，得到不同处理的根长（mm/ 株）、根系直径（mm）、根系体积（mm^3/ 株）、根表面积（mm^2/ 株）、根尖数（个 / 株）。

1.5 数据统计分析

利用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 16.0（Duncan $P<0.05$）软件进行数据处理和统计分析。利用隶属函数对不同处理的总干重、株高及根系形态指标进行综合分析评价。

2 结果与分析

2.1 不同处理对冬小麦苗期根系形态的影响

由表 2 可知，除 T7 处理外，其余处理相较于 CK 冬小麦根长、根系体积、根表面积均显著增加，T7 处理相较于 CK 冬小麦根长、根系直径、根系体积、根表面积、根尖数均有不同程度降低。其中，T2 处理的根长达到最大，显著高于 CK、T3、T5 及 T7 处理；T1、T4、T5、T6、T8、T9 处理的根系直径相较于 CK 增加显著；根系体积以 T9 处理最大；根表面积以 T8 处理最大；T1、T2、T3、T4、T6、T8、T9 处理的根尖数相较于 CK 增加显著，以 T3 最佳。

表 2 不同处理对冬小麦苗期根系形态的影响

Tab.2 Effects of different treatments on root morphology of winter wheat seedlings stage

处理	根长（mm/ 株）	根系直径（mm）	根系体积（mm^3/ 株）	根表面积（mm^2/ 株）	根尖数（个 / 株）
CK	846.1d	0.47e	196.1f	1248.3e	137d
T1	1527.1abc	0.56c	594.1bc	2832.7b	184bc
T2	1653.1a	0.50de	470.9de	2560.7c	221ab
T3	1371.7c	0.50de	430.4e	2232.2d	250a
T4	1552.2abc	0.53cd	712.7ab	3217.1a	202b
T5	1417.0bc	0.65ab	699.9ab	2640.6bc	163cd
T6	1491.8abc	0.61b	567.9cd	2622.3bc	201b
T7	467.3e	0.50de	107.9f	736.8f	59e
T8	1551.8abc	0.68a	775.6a	3373.0a	202b
T9	1568.2ab	0.63ab	797.6a	3274.1a	203b

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$），下同。

从 2 种腐植酸钾浓度（T8、T9 处理）表现看，腐植酸钾浓度从 20 mg/L 增加至 50 mg/L，冬小麦的根系形态指标无显著变化，说明 2 种腐植酸钾浓度均可促进冬小麦根系生长。

2.2 不同处理对冬小麦苗期生物量的影响

由表 3 可知，T4、T9 处理的地上部干重、根干重、总干重及株高与 CK 相比均处于较高水平，说明其在最适浓度下同时促进了地上部和地下部冬小麦苗期的生长发育。从 2 种腐植酸钾浓度（T8、T9 处理）的生物量表现看，腐植酸钾从 20 mg/L 增加至 50 mg/L，主要增加了冬小麦地上部干重进而增加总干重；T5 处理的根干重相较于 CK 无显著差异，T6 处理差异显著，但均抑制了地上部干重，总干重无显著增加；T7 处理抑制了根系的生长发育，但促进了地上部干重。

从地上部干重看，T4、T7 及 T9 处理的地上部干重显著高于其他处理；T1、T2、T3 处理的地上部干重相较于 CK 无显著增加；而 T5 和 T6 处理的地上部干重最低，说明这 2 个处理的植物生长调节剂浓度对冬小麦苗期地上部生长有抑制作用。

从根干重看，T4、T8 和 T9 处理的根干重相较于 CK 增幅显著；T7 处理根干重最低，相较于 CK 降低了 35.71%，这可能是由于植物生长调节剂浓度过高导致；除 T7 处理外，其他处理根干重相较于 CK 均有不同程度的提高。

从总干重和株高看，T4、T9 处理的总干重相较于 CK 增幅最显著，分别为 23.86% 和 28.41%。

2.3 不同处理的隶属函数评价

由表 4 可知，对不同处理的总干重、株高、根系形态指标利用隶属函数值计算后，综合评价结果显示 T4 与 T9 处理平均值较大，分别为 0.86 与 0.84；T2 与 T8 处理平均值次之，分别为 0.67 与 0.70；T7 处理平均值最小，该处理在根长、根系体积、根表面积及根尖数上相较于 CK 均表现出抑制效果。说明在本试验条件下，施用 150 mg/L 吲哚甲酯胺及 50 mg/L 腐植酸钾时相较其他处理对冬小麦苗期生长发育具有较优效果，能为冬小麦高产奠定基础。

表 3 不同处理对冬小麦苗期生物量的影响

Tab.3 Effects of different treatments on biomass of winter wheat seedlings stage

处理	地上部干重（g/30 株）	根干重（g/30 株）	总干重（g/30 株）	株高（cm）
CK	0.60c	0.28d	0.88e	14.82d
T1	0.62bc	0.36abc	0.98cd	14.85d
T2	0.63bc	0.35bc	0.98cd	15.79cd
T3	0.61c	0.31cd	0.92de	15.66cd
T4	0.70a	0.39ab	1.09ab	17.83ab
T5	0.56d	0.34bc	0.90e	15.78cd
T6	0.56d	0.31cd	0.87e	16.45bc
T7	0.72a	0.18e	0.90e	16.55abc
T8	0.65b	0.39ab	1.03bc	16.85abc
T9	0.72a	0.41a	1.13a	17.91a

表 4 不同处理下冬小麦苗期总干重、株高及根系形态指标的隶属函数分析

Tab.4 Membership functions analysis of different treatments on total dry weight, plant height, and root morphology indicators of winter wheat seedlings stage

处理	总干重（g/ 株）	株高（cm）	根长（mm/ 株）	根系直径（mm）	根系体积（mm^3/株）	根表面积（mm^2/株）	根尖数（个 / 株）	平均值 *
CK	0.04	0.00	0.32	1.00	0.13	0.19	0.41	0.30
T1	0.42	0.01	0.89	0.57	0.70	0.80	0.65	0.58
T2	0.42	0.31	1.00	0.86	0.53	0.69	0.85	0.67
T3	0.19	0.27	0.76	0.86	0.47	0.57	1.00	0.59
T4	0.85	0.97	0.91	0.71	0.88	0.94	0.75	0.86
T5	0.12	0.31	0.80	0.14	0.86	0.72	0.54	0.50
T6	0.00	0.53	0.86	0.33	0.67	0.72	0.74	0.55
T7	0.12	0.56	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.22
T8	0.62	0.66	0.91	0.00	0.97	1.00	0.75	0.70
T9	1.00	1.00	0.93	0.24	1.00	0.96	0.75	0.84

注：* 为表中 7 个指标隶属值的平均值。

3 讨论

不同的植物生长调节剂对作物生长发育的影响不同[11]。张飞雪等[12]以不同植物生长调节剂与肥料复配施用发现，施用氨基寡糖素水剂时，可显著提高冬小麦旗叶长度，促进地上部生长发育，增加光合性能，为高产奠定基础。本试验研究表明，施用腐植酸钾、氨基酸等衍生物、吲哚甲酯胺时，相较于对照均显著增加了冬小麦地上部生物量，3 种植物生长调节剂间无显著差异。但本试验并未测定光合荧光参数，会在后续试验中探究不同处理间小麦光合性能等生理指标的差异。生根剂属于植物生长调节剂促进剂类，其能够维持作物的顶端优势，促进愈伤组织形成芽或根[5]。李亚东[13]研究表明，在相同浓度下，施用 ABT 生根粉 1 号时，茶条槭的生根率、生根数和根长相较于萘乙酸处理较佳，且相较于对照不定根转化效率显著提高。韩冬等[14]通过不同植物生长调节剂与大豆拌种及叶面喷施发现，施用 ABT 生根粉能够促进大豆的根系生长发育，施用胺鲜酯能够增加大豆叶片的光合效率，而施用烯效唑可明显提高大豆的结荚数和粒数。本试验通过施用具有促进植物生长素合成的植物生长调节剂，发现除氨基酸等衍生物处理外，其余处理相较于对照均能够改善冬小麦苗期根系形态，显著提高根长、根系体积以及根表面积。外源氨基酸施用浓度不同，对作物的生长发育的影响不同[15，16]，适宜的外源氨基酸浓度才能够促进作物幼苗的生长发育[17]。刘繁超等[18]用不同浓度及不同氨基酸研究对盆栽水稻秧苗的生长的影响发现，施用 4 g/L 的亮氨酸、1 g/L 的天门冬氨酸、0.9 g/L 的谷氨酸能够提高水稻的干物质积累、且促进水稻的根系生长发育，而施用 0.85 ~ 10.2 g/L 浓度内的精氨酸，对水稻根干重以及根系形态指标均有抑制效果。本试验通过施用 20 mg/L 浓度的氨基酸等衍生物，虽抑制冬小麦苗期根系的生长发育，但相较于对照显著提高冬小麦苗期地上部生物量、总干重增幅 23.86%。在后续试验中，将添加氨基酸等衍生物，以探究该处理促进冬小麦根系生长发育的最适浓度。

腐植酸不仅能提高作物的光合及呼吸强度，同时还具有促进作物体内植物激素合成的功能，促进细胞分裂，改善作物根系形态，最终提高作物产量[19 ~ 21]。本试验结果表明，施用腐植酸能够在显著改善冬小麦苗期根系形态的同时，显著提高地上部的生物量。腐植酸能促进作物根系生长，这是由于腐植酸具有肽酶类等有机生物刺激素，吸收后能够提高作物的生物活性，提高根系中细胞的生长发育以及蛋白质的合成，从而促进作物根系的生长发育[22]，且腐植酸对作物根系的促进主要体现在根长、根尖数方面。本试验结果亦表明，腐植酸钾对促进冬小麦苗期根长、根表面积以及根体积均有显著效果；通过隶属函数综合分析，施用 50 mg/L 腐植酸钾与 150 mg/L 吲哚甲酯胺，对冬小麦苗期的作用效果达到最优。刘英浩等[23]研究不同量的风化煤腐植酸对苹果幼苗的影响发现，施用 1.5 g/kg 腐植酸时，苹果幼苗的生物量、株高及根系形态均达到最高。在本试验条件下，施用 20 mg/L 与 50 mg/L 的腐植酸钾时冬小麦苗期的根系形态无显著差异，但 50 mg/L 腐植酸钾能够显著提高地上部的生物量，说明 2 种浓度的腐植酸钾均能促进根系生长发育，而由于腐植酸钾含有植物所需的必要元素[24]，增加浓度至 50 mg/L 能够继续促进地上部的生长。

综上所述，施用腐植酸钾能够改善冬小麦苗期的根系形态，增强根系吸收养分的能力，使地上部生物量以及株高得到提升。本试验结果为腐植酸改善冬小麦根系构建提供了数据支撑，且相较激素及类激素物质，腐植酸具有安全、成本低、应用风险低等优势。因此，合理施用腐植酸能实现小麦绿色高效生产。

4 结论

（1）利用隶属函数综合评价分析，筛选出施用 150 mg/L 的吲哚甲酯胺以及 50 mg/L 的腐植酸钾处理时，作用效果达到最佳，能够在改善冬小麦苗期根系形态的同时，提高地上部生物量。

（2）除施用氨基酸等衍生物处理外，其余施

用植物生长调节剂处理相较对照冬小麦根系形态均有不同程度的改善。

（3）腐植酸钾浓度从 20 mg/L 增加至 50 mg/L 后，冬小麦苗期根系形态无明显变化，但能继续促进地上部生物量积累。

参考文献

[1] 王淑芬，张喜英，裴冬 . 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报，2006（2）：27 ~ 32.

[2] Kareem S H, Hawkesford M, Desilva J, et al. Root architecture and leaf photosynthesis traits and associations with nitrogen-use efficiency in landrace-derived lines in wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2022: 126603.

[3] 王金祥，严小龙，潘瑞炽 . 不定根形成与植物激素的关系 [J]. 植物生理学通讯，2005（2）：133 ~ 142.

[4] Péret B, Rybel D B, Casimiro I, et al. Arabidopsis lateral root development: an emerging story[J]. Trends in Plant Science, 2009, 14(7): 399 ~ 408.

[5] 曹艳茹，焦钰，杨福雪，等 . 生根剂促进菊花扦插生根的研究进展 [J]. 安徽农业大学学报，2023，50（4）：595 ~ 602.

[6] 莫木信 . 白花油茶扦插生根剂优化与筛选 [J/OL]. 林业科技通讯，https://doi.org/10.13456/j.cnki.lykt.2023.08.22.0001.

[7] 马朝喜，闫妞，赵玉玲，等 . 吲哚丁酸与萘乙酸复配对冬凌草硬枝扦插生根的影响 [J]. 基层农技推广，2022，10（11）：38 ~ 40.

[8] 王娜，孙得芳，神兴明，等 . 不同浓度 ABT 生根剂对小麦生长指标的差异化研究 [J]. 山东化工，2017，46（21）：14 ~ 16.

[9] 韩惠芳，杨文钰，樊高琼，等 . 烯效唑干拌种对不同群体小麦分蘖成穗的调控 [J]. 麦类作物学报，2003（4）：113 ~ 116.

[10] 王亮亮，高志山，宋涛 . 聚天冬氨酸和生根剂复配对玉米根系及幼苗生长的影响 [J]. 江苏农业科学，2017，45（22）：67 ~ 69.

[11] 张春兰，鲍梦姣 . 三种植物生长调节剂对小麦种子发芽及幼苗生长的影响 [J]. 中南农业科技，2023，44（12）：243 ~ 244，247.

[12] 张飞雪，陈峰，张书红，等 . 不同植物生长调节剂对冬小麦生长及产量的影响 [J]. 肥料与健康，2023，50（6）：58 ~ 61，66.

[13] 李亚东 . 生根剂种类和浓度对茶条槭扦插繁殖的影响 [J]. 特种经济动植物，2023，26（11）：25 ~ 27.

[14] 韩冬，周伟鑫，张景云，等 . 不同植物生长调节剂对大豆生长及产量的影响 [J]. 黑龙江农业科学，2023（12）：20 ~ 28.

[15] 许猛，袁亮，李伟，等 . 复合氨基酸肥料增效剂对新疆棉花生长、产量和养分利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料，2018（4）：87 ~ 92.

[16] 王翠平，陈建伟，乔改霞 . 脯氨酸通过影响生长素途径相关信号抑制拟南芥根的生长 [J]. 植物生理学报，2017，53（8）：1428 ~ 1434.

[17] 左莹 . 外源添加谷氨酸提高水稻抗旱性机制 [D]. 福建农林大学硕士学位论文，2022.

[18] 刘繁超，方淑梅，王庆燕，等 . 不同浓度外源氨基酸对水稻秧苗生长及相关生理指标的影响 [J]. 作物杂志，2024（2）：71 ~ 79.

[19] 陈祥福，李文平，卢运艳，等 . 腐植酸型土壤调理剂对酸性土壤理化性质和小麦生长及产量的影响 [J]. 腐植酸，2020（3）：42 ~ 46.

[20] 张丽，王小璇 . 腐植酸对土壤性质及作物生长发育影响的研究进展 [J]. 腐植酸，2023（5）：21 ~ 27.

[21] 周丽平，袁亮，赵秉强，等 . 腐植酸的组成结构及其对作物根系调控的研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报，2022，28（2）：334 ~ 343.

[22] 张水勤，袁亮，林治安，等 . 腐植酸促进植物生长的机理研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报，2017，23（4）：1065 ~ 1076.

[23] 刘英浩，李允，高涵，等 . 不同用量腐植酸对苹果幼苗生长及生长环境的影响 [J]. 中国土壤与肥料，2022（11）：93 ~ 100.

[24] 胡壮壮，王路路，姜雪冰，等 . 腐植酸钾复合肥在玉米上的肥效试验分析 [J]. 中国农学通报，2023，39（36）：33 ~ 39.