植物营养与肥料学报 2014,20(6):1560-1568
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0627

喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响

于会丽,林治安,李燕婷*,袁亮,赵秉强
(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部植物营养与肥料重点实验室,北京 100081)

摘要:【目的】某些小分子有机物具有良好的渗透、保湿及粘着性,与养分混合喷施可促进作物生长和养分吸收,在农业生产上常被用作肥料助剂,但关于小分子有机物本身对作物生长发育、养分吸收等方面影响的研究目前鲜有报道,本文利用小油菜盆栽试验,喷施不同小分子有机物(山梨醇、葡萄糖酸钠、甘氨酸),以研究小分子有机物对作物生长发育、养分吸收的影响和明确不同小分子有机物的最佳喷施浓度。**【方法】**采用盆栽试验,作物选用小油菜,小分子有机物选用山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸,每种小分子有机物各设4个喷施浓度:山梨醇为30、90、150和300 mg/kg,葡萄糖酸钠为150、300、600和1200 mg/kg,甘氨酸为60、120、250和500 mg/kg,以喷施清水为对照,共13个处理,每个处理四次重复,采用随机区组排列。小油菜三叶期开始喷施,之后每隔7天喷施一次,共喷施4次。小油菜收获后,测定生物量、叶片SPAD值以及植株硝态氮、可溶性糖、可溶性蛋白与氮、磷、钾养分的含量,分析喷施小分子有机物对小油菜产量、品质、养分吸收的影响,并采用回归分析方法研究小分子有机物喷施浓度与上述各测定指标的相关性。**【结果】**1)与对照(喷清水)相比,喷施山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸的小油菜生物量平均增加了9.80%、26.37%、25.40%,其中,以喷施山梨醇300 mg/kg、葡萄糖酸钠600 mg/kg和甘氨酸250 mg/kg的小油菜生物量增幅最大,分别为25.60%、31.87%、35.87%;2)与喷清水对照相比,喷施3种小分子有机物均可改善小油菜品质、促进养分吸收,其中,喷施适宜浓度的山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸可显著降低小油菜硝态氮含量,明显提高可溶性糖含量和SPAD值,显著促进小油菜对氮、磷、钾养分的吸收;3)根据回归分析结果,3种小分子有机物喷施浓度与小油菜生物量、品质和养分吸收量均呈二次曲线相关,表明在适宜的喷施浓度下,山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸均具有促进作物生长和吸收养分的作用,其中,以山梨醇150~300 mg/kg、葡萄糖酸钠600~1200 mg/kg、甘氨酸120~250 mg/kg喷施效果最佳。**【结论】**小分子有机物山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸叶面喷施可促进小油菜生长和对养分(氮、磷、钾)的吸收、提高产量、改善品质,可作为作物的叶面有机营养剂直接施用,并可进一步研究作为有机水溶性肥料的助剂。

关键词:小分子有机物;产量;品质;养分吸收
中图分类号:S634.3.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)06-1560-09

Effects of spraying low molecular organic compounds on growth and nutrients uptake of rape (*Brassica Chinensis* L.)

YU Hui-li, LIN Zhi-an, LI Yan-ting*, YUAN Liang, ZHAO Bing-qiang
(*Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key laboratory of Plant Nutrition and fertilizer, Ministry of Agircultur, Beijing 100081, China*)

Abstract:【Objectives】Some low-molecular organic compounds are widely used as fertilizer assistants in foliar fertilizers for their good humectants, penetrative and adhesive properties. However, little attentions have been paid to their effects on plant growth and nutrients uptake until now. Therefor, the effects of spraying low molecular

收稿日期:2014-03-17 **接受日期:**2014-04-15
基金项目:农业产业技术体系建设专项经费(CARS-3-2-18);国家科技支撑计划课题(2011BAD11B05);公益性行业(农业)科研专项经费(201103003)资助。
作者简介:于会丽(1987—),女,河南三门峡人,硕士研究生,主要从事新型肥料的研制与应用。
* 通信作者 Tel:010-82108664, E-mail:liyanting@caas.cn

organic compounds (sorbitol, sodium gluconate and glycine) on the growth and nutrients uptake and their optimum application rate were studied in this paper. 【**Methods**】A pot experiment was conducted with rape (*Brassica Chinensis* L.) as matiral. Water was sprayed as control (CK), four spraying densities of sorbitol (30, 90, 150 and 300 mg/kg), sodium gluconate (150, 300, 600 and 1200 mg/kg) and glycine (60, 120, 250 and 500 mg/kg) were designed with four replications each treatment. Treatments were implemented since the beginning of three-leaf stage of rape and four sprayings continued with a frequency of every seven days. The rape biomass, leaf SPAD values and contents of nitrate, soluble sugar, soluble protein and main nutrients of rape were measured. 【**Results**】1) Compared with control, the rape biomass were increased by 9.80%, 26.37% and 25.40% in the treatment of spraying sorbitol, sodium gluconate and glycine, and the best spraying density of sorbitol, sodium gluconate and glycine were 300 mg/kg, 600 mg/kg and 250 mg/kg, and the rape yields were increased by 25.60%, 31.87% and 35.87%, respectively. 2) Compared with control, spraying proper low molecular organic compounds could improve the nutrients (N, P, K) uptake, enhance the contents of soluble sugar and protein, promote SPAD values and decrease the nitrate content of rape obviously. 3) The correlation analysis showed that there was a significant correlation of quadratic curve between the spraying concentration of the low molecular organic compounds and the biomass, nutrients uptake capacity and quality of rape, respectively, which indicated that the optimal application rate of sorbitol, sodium gluconate and glycine were 150 – 300 mg/kg, 600 – 1200 mg/kg and 120 – 250 mg/kg, respectively. 【**Conclusions**】Spraying low molecular organic compounds (sorbitol, sodium gluconate and glycine) could increase the biomass, improve the quality and enhance nutrients (N, P, K) uptake of rape. The low molecular organic compounds can be sprayed directly to plant leaves as the organic nutrients as well as assistants in fertilizers.

Key words: low molecular organic compounds; yield; quality; nutrient uptake

由于某些小分子有机物具有良好的渗透、湿润以及降低溶液表面张力的功能，叶面喷施后溶液能较好地附着于叶片并迅速扩展，在叶面形成一层薄膜，增大叶片吸收面积，并且对中微量元素具有螯合/络合作用，提高中微量元素的有效性，促进作物的吸收利用，因此，常常被用作叶面肥的主剂或助剂[1-3]。并且高等植物的根系及地上部（主要是叶片）不仅可以直接吸收矿质营养元素，也能直接吸收氨基酸、多肽、糖类等小分子有机物，小分子有机物直接施用或与养分物质配施均可以促进作物生长，提高产量和品质[4-6]。如，在等氮量无菌水培条件下，甘氨酸单施或与 NH_4^+-N 配施可明显促进水稻苗生长，其中，单施甘氨酸的稻苗生物量较单施 NH_4^+-N 提高 17.81%[7]；土施色氨酸能明显提高株高和干物质的积累，促进植物对氮、磷、钾的吸收，不同程度地提高氮、磷、钾在组织器官中的浓度[8-10]；氨基酸和海藻液混合喷施可使葡萄百果重增加 14.78%，总糖和还原糖含量分别提高 28% 和 35%[11]；氨基酸与微量元素配合喷施可明显增加绿豆、蔬菜的产量，提高蛋白质含量，并能降低蔬菜硝酸盐含量[12-13]；土施氨基酸螯合微肥不仅改善小麦相关生物形状，还能明显提高小麦蛋白质和淀粉的含量[14]；喷施糖醇以及与养分混合物不仅可以提高作物产量和品质，还可以改善处于弱光、低温、盐胁迫等亚健康状态作物的生长，矫正一些落花落果等影响作物正常生长发育的现象[15-16]。综合来看，目前对小分子有机物在农业生产中的研究多集中于作为肥料助剂及其与养分配施的作用与效果，而关于不同小分子有机物本身对作物生长发育和吸收养分等方面的作用及其施用效果的研究却不多。本文选用山梨醇、葡萄糖酸钠、甘氨酸 3 种小分子有机物，通过叶面喷施，研究不同小分子有机物对作物产量、品质和养分吸收的影响，以明确小分子有机物对作物的叶面营养效果和作物吸收养分的影响与作用，为作物的有机叶面营养和新型有机水溶性肥料的研制提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验地点在中国农业科学院德州实验站禹城试验基地，位于华北平原中东部，东经 116°34′，北纬 36°50′，属暖温带半湿润季风气候。

供试土壤取自中国农业科学院德州实验站禹城试验基地多年匀地试验耕层土壤，质地为轻壤，主要

养分含量全氮 0.65 g/kg、速效磷(P_2O_5)16.29 mg/kg、速效钾(K_2O)90.15 mg/kg、有机质 9.43 g/kg、pH 7.98。

供试作物为小油菜,品种京华一号。

供试小分子有机物为山梨醇(分析纯,分子量182.17)、葡萄糖酸钠(分析纯,分子量218.14)、甘氨酸(分析纯,分子量75.07)。

试验以盆栽方式进行,共设置13个处理。喷施清水为对照(CK),3种小分子有机物(山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸)各采用4个喷施浓度(见表1)。每个处理重复4次,随机区组排列。

表1 试验因素和水平

Table 1 The factors and levels of experiments

小分子有机物 (mg/kg) Organic compounds	T1	T2	T3	T4
山梨醇 Sorbitol	30	90	150	300
葡萄糖酸钠 Sodium gluconate	150	300	600	1200
甘氨酸 Glycine	60	120	250	500

试验播种前,将过2 mm筛风干土壤与肥料混匀,装入内径为24 cm、高15 cm的塑料盆中,每盆装风干土3.25 kg。所用肥料为尿素(N 46.2%)、磷酸二铵(18-46-0)、硫酸钾(K_2O 50%),施肥量为每千克土施N 0.25 g、$P_2O_5$0.15 g、K_2O 0.15 g,其中,磷、钾肥一次性施入,氮肥施入60%,其余40%在出苗后第35天追施。试验于2013年6月29号播种出苗后1周定苗,每盆保留长势一致的健壮苗4株。

按照试验设计,小油菜三叶期开始进行喷施处理,每次20 mL/盆,每隔7天喷施一次,共喷施4次。喷施时用塑料薄膜遮盖盆中土壤和相邻盆,避免喷施液进入土壤和喷到相邻盆中的小油菜苗。其他管理按当地常规措施和方式。2013年8月13日收获。

1.2 样品采集及测定

收获时迅速将新鲜植株样品带回实验室进行植株硝酸盐、可溶性糖及可溶性蛋白等项目的测定分析。

株高 用直尺测量植株,从露出土壤根部至顶端的距离;

叶长 用直尺测量植株顶部倒数第3片展开叶叶尖至叶基距离;

叶宽 用直尺测量倒数第3片叶最宽部分距离;

小油菜叶面积=叶长×叶宽×0.75[17]。

小油菜植株体 NO_3^- 含量采用水杨酸法[18]测定,可溶性糖的测定采用蒽酮比色法[18],可溶性蛋白的测定采用考马斯亮蓝G-250染色法测定[18],叶片SPAD值的测定采用SPAD-502仪测定,全氮、磷、钾含量的测定采用H_2SO_4和H_2O_2湿法消煮,用微量开氏法测定氮、钒钼黄比色法测定磷、火焰光度法测定钾[19]。

1.3 数据处理与分析

试验数据采用Microsoft Excel 2003和SAS 8.0软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 小分子有机物对小油菜生长发育的影响

根据试验结果(表2),叶面喷施小分子有机物能明显提高小油菜产量。与对照相比,山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸不同浓度处理的小油菜干重平均增加了9.80%、26.37%、25.40%,增加率顺序为葡萄糖酸钠>甘氨酸>山梨醇。山梨醇在喷施浓度为30 mg/kg(T1)、90 mg/kg(T2)、150 mg/kg(T3)时对小油菜产量的影响不大,当喷施浓度为300 mg/kg(T4)时,小油菜产量较对照提高25.60%,差异达显著水平。葡萄糖酸钠在不同喷施浓度下对小油菜产量均有显著提高作用,与对照相比,增幅可达31.87%,但不同浓度间差异不显著。喷施甘氨酸,随着施用浓度的增加小油菜产量也随之增加,在喷施浓度为250 mg/kg(T3)时,小油菜产量增幅最大,较对照提高35.87%,但继续提高喷施浓度小油菜产量反而降低。可见,3种小分子有机物在适宜浓度下均能明显提高小油菜的产量(干重)。

由表2可以看出,小分子有机物能促进小油菜生长,提高小油菜叶面积和株高。与对照相比,喷施不同浓度的山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸,小油菜叶面积平均分别增加了5.23%、23.35%、18.97%,株高平均分别增加了3.27%、4.95%、5.53%。其中,当施用山梨醇150 mg/kg(T3)时小油菜叶面积和株高达到最大,分别比对照增加9.58%、7.31%,差异均达显著水平。喷施葡萄糖酸钠150 mg/kg(T1)处理时小油菜的叶面积最大,喷施1200 mg/kg(T4)小油菜株高最高,明显高于对照6.77%。喷施甘氨酸250 mg/kg小油菜叶面积和株高达到最大。由此可见,山梨醇、葡萄糖酸钠及甘

表 2　小分子有机物对小油菜生物量、叶面积、株高的影响

Table 2　The effets of low molecular organic compounds on the biomass, leaf area and plant height of rape

小分子有机物 Organic compounds	处理 Treatment	生物量(Biomass) 干重 (g/pot) Dry weight	生物量(Biomass) 增长率(%) Increase	叶面积 Leaf area (cm^2)	株高 Plant height (cm)
山梨醇 Sorbitol	CK	7.50 ±0.26 b	—	48.65 ±3.26 b	20.67 ±0.42 b
	T1	7.20 ±0.49 b	-4.00	51.76 ±1.26 ab	20.37 ±0.96 b
	T2	7.62 ±0.51 b	1.60	48.28 ±1.86 b	20.81 ±0.32 b
	T3	8.70 ±0.48 ab	16.00	53.31 ±1.68 a	22.18 ±0.39 a
	T4	9.42 ±0.52 a	25.60	51.43 ±3.34 ab	22.03 ±0.22 a
葡萄糖酸钠 Sodium gluconate	CK	7.50 ±0.26 b	—	48.65 ±3.26 d	20.67 ±0.42 b
	T1	9.63 ±0.15 a	28.40	65.66 ±2.31 a	21.68 ±0.29 ab
	T2	8.65 ±0.46 ab	15.33	60.54 ±0.51 bc	21.4 ±0.67 ab
	T3	9.89 ±0.49 a	31.87	57.55 ±2.99 c	21.62 ±0.93 ab
	T4	9.74 ±1.01 a	29.87	63.4 ±2.55 ab	22.07 ±0.97 a
甘氨酸 Glycine	CK	7.50 ±0.26 c	—	48.65 ±3.26 c	20.67 ±0.42 b
	T1	9.52 ±0.89 ab	26.93	61.69 ±2.72 a	22.73 ±1.84 a
	T2	9.76 ±0.40 ab	30.13	57.42 ±1.65 b	22.47 ±0.36 a
	T3	10.19 ±0.55 a	35.87	56.92 ±1.45 b	22.96 ±0.56 a
	T4	8.15 ±0.03 bc	8.67	55.09 ±1.46 b	22.58 ±0.26 a

注(Note):表中同列数值后不同字母表示同一小分子有机物质处理间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters are significant different among treatments of the same organic compounds at the 5% level.

氨酸在适宜的施用浓度下均可提高小油菜的叶面积和株高,增加小油菜的产量。

2.2　小分子有机物对小油菜品质的影响

喷施小分子有机物能显著降低小油菜硝态氮含量(图 1)。喷施不同浓度小分子有机物山梨醇、葡萄糖酸钠及甘氨酸小油菜硝态氮含量平均分别降低了 50.62%、45.63%、50.70%,差异显著。同一物质不同浓度处理间小油菜硝态氮含量差异不明显。可能由于小分子有机物质加强碳代谢为氮代谢提供能量和碳骨架,提高硝酸还原酶能力,从而促进了硝酸盐同化,降低硝酸盐含量[20]。

施用 3 种小分子有机物均能增加小油菜可溶性糖含量(图 1),其中,葡萄糖酸钠随着喷施浓度的增加,小油菜可溶性糖含量相应增加,当喷施浓度达 600 mg/kg(T3)以上时,可溶性糖含量显著高于对照,增幅达 18.25% ~ 32.27%;当甘氨酸喷施浓度为 150 mg/kg(T2)时小油菜可溶性糖含量达到最高,比对照增加 32.76%;山梨醇对小油菜可溶性糖含量影响不大,仅喷施浓度为 150 mg/kg(T3)时小油菜可溶性糖含量较对照高 2.16%。

蛋白质是生命的物质基础,也是反映植物叶片功能及衰老的可靠性指标之一[21]。根据试验结果(图 1),小油菜可溶性蛋白含量随着葡萄糖酸钠喷施浓度的增加呈先增加后降低趋势,当喷施浓度为 300(T2)~600 mg/kg(T3)时,小油菜可溶性蛋白较对照提高 11.77% ~ 17.54%,差异达显著水平;甘氨酸在喷施浓度为 60 mg/kg(T1)时可明显提高小油菜可溶性蛋白含量,较对照增加 16.10%。喷施山梨醇对小油菜可溶性蛋白含量影响不大。

综上所述,本文所选用 3 种小分子有机物(葡萄糖酸钠、山梨醇、甘氨酸)在适宜的用量范围内可以促进小油菜生长、提高小油菜品质。

2.3　小分子有机物对小油菜 SPAD 值的影响

从图 2 中可以看出,小油菜 SPAD 值随着小分子有机物喷施浓度的增加呈先增加后降低的趋势,但总体来说,喷施小分子有机物处理的小油菜 SPAD 值均高于对照。与对照相比,喷施不同浓度的山梨醇、葡萄糖酸钠及甘氨酸的小油菜 SPAD 值

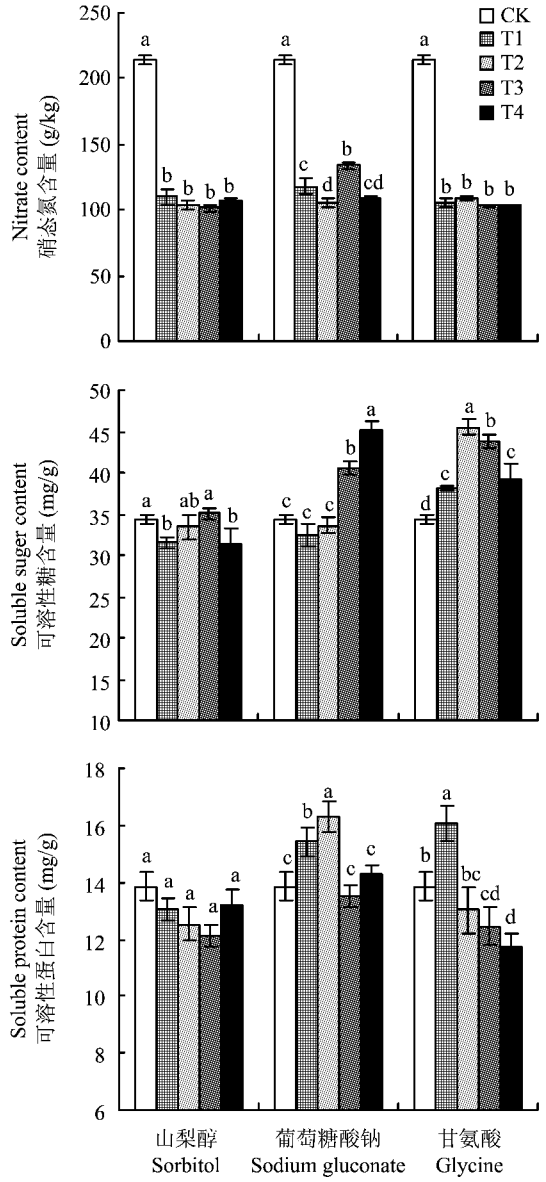

图1 小分子有机物对小油菜硝态氮、可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig.1 Effect of low molecular organic compounds on the NO_3^-, soluable sugar and soluable protein contents of rape leaves

[注(Note):柱上不同字母表示同一有机物处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant different among treatments of the same compound at the 5% level.]

平均分别增加了12.59%、18.69%、13.50%。甘氨酸在喷施浓度为120 mg/kg(T2)时小油菜SPAD值最高,较对照提高16.52%,差异显著;山梨醇、葡萄糖酸钠分别在施用浓度为150 mg/kg(T3)、600 mg/kg(T3)时小油菜SPAD值达到最高,分别比对照提高19.08%、22.30%,差异显著;三种小分子有机物在T4处理下小油菜SPAD值较T3处理虽均表现为降低,但二者间差异不显著。

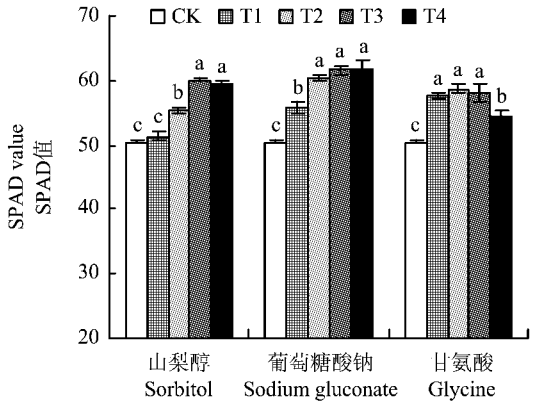

图2 小分子有机物对小油菜SPAD值的影响

Fig. 2 Effect of low molecular organic compounds on SPAD values of rape leaves

[注(Note):柱上不同字母表示同一生物活性物质处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant difference among treatments of the same low molecular organic compound at the 5% level.]

2.4 小分子有机物对小油菜养分吸收的影响

喷施3种小分子有机物对小油菜氮、磷、钾吸收总量的影响(图3)。结果表明,喷施小分子有机物山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸不同浓度处理的小油菜对氮素的吸收能力明显提高,与对照相比氮的吸收量平均提高17.23%、25.23%、19.96%。其中,随着山梨醇和葡萄糖酸钠施用量的增加小油菜氮素吸收量相应的增加,喷施浓度分别为300 mg/kg(T4)、1200 mg/kg(T4)时小油菜氮素吸收量最高,较对照分别增加34.31%、35.41%,差异显著,但不同浓度处理间对小油菜氮素吸收量影响不明显;喷施甘氨酸,随着施用浓度的增加小油菜氮素吸收量呈先增加后降低趋势,当喷施浓度为60 mg/kg(T1)时,小油菜氮素吸收量增幅最大,较对照提高29.65%,差异显著。

喷施小分子有机物能明显提高小油菜吸收磷素的能力。由图3可知,施用不同浓度山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸的小油菜磷素吸收量与对照相比平均增加了16.06%、33.04%、19.10%,同样对磷素促进吸收作用为葡萄糖酸钠>甘露醇>山梨醇。其中,山梨醇喷施浓度为150(T3)~300 mg/kg(T4)时,小油菜的磷素吸收量较对照明显提高了26.17%~43.16%,差异显著;小油菜磷素吸收量随着葡萄糖酸钠和甘氨酸喷施浓度的增加先相应的增加后降低,喷施浓度分别为600 mg/kg(T3)、60 mg/kg(T1)时的小油菜磷素吸收量最大,较对照分

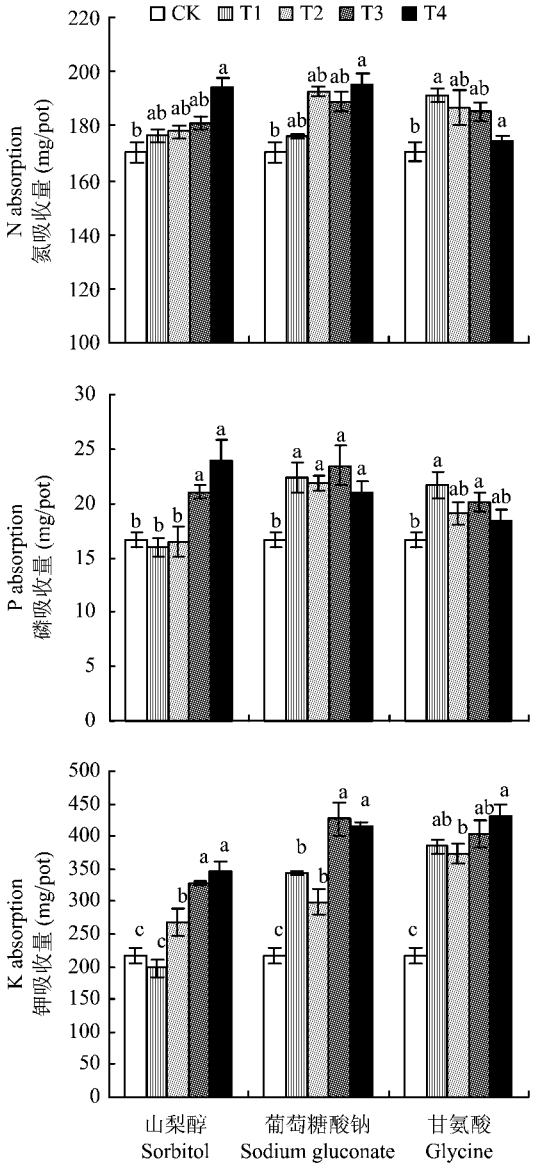

图 3　小分子有机物对小油菜氮、磷、钾养分吸收的影响

Fig. 3　The effets of low molecular organic compounds on N、P、K uptake of rape

[注(Note)：柱上不同字母表示同一生物活性物质处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant difference among treatments of the same low molecular organic compounds at the 5% level.]

别提高了 40.87%、20.83%，差异显著，但同一化合物不同浓度间差异不显著。喷施小分子有机物的小油菜对钾素的吸收具有明显的促进作用，小油菜钾素吸收能力随着小分子有机物山梨醇、葡萄糖酸钠及甘氨酸施用量的增加均明显增大。其中，喷施山梨醇 150～300 mg/kg 的小油菜钾素吸收量较对照明显提高，增幅为 51.49%～59.51%，差异显著；施用葡萄糖酸钠的小油菜对钾吸收有明显促进作用，不同喷施浓度促进程度顺序为 T3 > T4 > T1 > T2，与对照相比，小油菜的钾素吸收量增幅为 38.72%～97.10%，差异均达显著水平；施用不同浓度甘氨酸的小油菜钾吸收量较对照平均增加 83.84%，增幅为 72.07%～99.43%，差异显著。

2.5　小分子有机物喷施浓度与小油菜生物量、养分吸收量及品质的相关性

根据对小分子有机物喷施浓度与小油菜生物量、品质及养分吸收量之间的相关性分析（如表 3），山梨醇喷施浓度与小油菜的生物量（$y = -4 \times 10^{-7} x^2 + 0.0076x + 7.2318$）、SPAD 值（$y = -0.0002x^2 + 0.0927x + 49.576$）、氮磷钾养分吸收量（$y_N = 0.0001x^2 + 0.1233x + 150.52$；$y_P = 0.00002x^2 + 0.0219x + 15.82$；$y_K = -0.0018x^2 + 1.0494x + 195.2$）均呈极显著二次曲线相关，而与硝态氮含量的相关性也达到二次曲线相关显著水平（$y = 0.0028x^2 - 1.089x + 182.42$），表明在一定浓度范围内，山梨醇的喷施浓度对小油菜的生长和养分吸收具有良好的促进作用，对硝态氮的含量有明显的降低作用，根据试验结果（表 2、图 1、图 2、图 3），山梨醇的最佳使用浓度范围是 150～300 mg/kg。

葡萄糖酸钠喷施浓度与小油菜生物量、养分吸收量及品质也均呈二次曲线相关，其中，与小油菜可溶性糖含量（$y = 0.000001x^2 + 0.009x + 32.624$）和 SPAD 值（$y = -0.00002x^2 + 0.0307x + 51.237$）之间达极显著水平，与氮磷钾养分吸收量之间呈显著相关（$y_N = -0.00006x^2 + 0.1109x + 149.1$；$y_P = -0.00001x^2 + 0.0184x + 17.872$；$y_K = -0.0002x^2 + 0.4526x + 231.78$），而与生物量和硝态氮之间的相关性不显著（表 3）。说明在一定喷施浓度范围内，葡萄糖酸钠可显著提高小油菜可溶性糖含量和 SPAD 值，明显促进其对氮磷钾养分的吸收。据试验结果（图 1、图 2、图 3），葡萄糖酸钠的喷施浓度以 600～1200 mg/kg 较适宜。

甘氨酸喷施浓度与小油菜生物量（干重）之间也达到二次曲线极显著相关（$y = -0.00004x^2 + 0.0201x + 7.8903$），与可溶性糖含量（$y = -0.0001x^2 + 0.0779x + 34.965$）、SPAD 值（$y = -0.0001x^2 + 0.0577x + 52.248$）、全钾含量（$y = -0.0015x^2 + 1.052x + 262.04$）均是二次曲线显著相关（表 3），说明在一定喷施浓度范围内，甘氨酸可明显促进小油菜的生长发育和钾养分的吸收，并提高其品质。根据试验结果（表 2、图 1、图 2、图 3），甘氨酸喷施浓度为 120～250 mg/kg 时，对促进

表3 小分子有机物喷施浓度与小油菜生物量、品质和养分吸收之间的相关性(r值)

Table 3 The correlations between the spraying densities of low molecular organic compounds and the biomass, quality and nutrient uptakes of rape(r value)

小分子有机物 Compounds	干重 Dry biomass	硝态氮含量 Nitrate content	可溶性糖含量 Soluble suger content	SPAD	养分吸收量 Nutrient uptake		
					N	P	K
山梨醇 Sorbitol	0.950**	0.814*	0.581	0.980**	0.984**	0.943**	0.955**
葡萄糖酸钠 Sodium gluconate	0.798	0.719	0.944**	0.973**	0.901*	0.881*	0.914*
甘氨酸 Glycine	0.946**	0.809	0.897*	0.865*	0.744	0.570	0.861*

注(Note): * —$P<0.05$; ** —$P<0.01$.

小油菜生长发育和养分吸收以及提高品质的作用较佳。

3 讨论

施用小分子有机物不仅能够促进作物生长,而且可以提高作物品质,一方面是因为小分子有机物能为代谢提供能量,另一方面是因为小分子有机物还可同时为脂类、蛋白质和核酸的合成提供碳骨架,如糖醇类小分子有机物通过光合作用和碳源代谢产生不同的糖信号参与调节、激发植物生长发育[22-23],氨基酸类则是酶和蛋白质的组成成分,可以为核苷酸、叶绿素、激素第二代谢产物合成提供原料(N),提高一些酶的活性,调控植物体内生理生化过程,从而提高作物产量和品质[20,24]。Awad等[25]研究表明,施用氨基酸和腐殖酸可促进马铃薯生长发育,提高产量及品质;Mondal[26]等研究发现,喷施谷氨酸和脯氨酸不仅可以改善处于毒害状态下的草莓生长,还能提高果实产量,较对照提高50%;闫素芳和宋海星等[27-28]分别在小白菜和小麦上喷施蔗糖,可明显降低小白菜叶片硝酸盐含量,提高小麦幼苗可溶性糖含量。本研究与前人的研究结果相一致,喷施山梨醇、甘氨酸和葡萄糖酸钠3种小分子有机物不仅促进小油菜生长,提高产量,还能改善品质(图1),根据相关性分析(表3),小分子有机物喷施浓度与小油菜产量和品质之间呈显著的二次曲线相关,可见,喷施适量的小分子有机物可促进小油菜生长、改善品质。

SPAD值代表作物叶片叶绿素相对含量,叶绿素是植物代谢过程中进行光合作用、同化作用的基础,提高叶片SPAD值,可以提高光合速率,加速光合产物的积累,更好地促进作物生长[29]。本研究结果表明,山梨醇、甘氨酸和葡萄糖酸钠3种小分子有机物喷施浓度与小油菜SPAD值间呈二次曲线显著相关(表3),喷施3种小分子有机物可以明显提高小油菜SPAD值(见图2),增加了小油菜叶片的叶绿素含量,从而提高了小油菜的光合作用,促进了小油菜的生长。其中,以喷施葡萄酸钠600 mg/kg、山梨醇150～300 mg/kg、甘氨酸250 mg/kg的小油菜SPAD值提高效果最为明显。

根据研究,施用小分子有机物还可促进作物对养分的吸收利用,这主要是因为:一方面小分子有机物可直接为作物生长的新陈代谢作用提供碳源,促进作物生长,刺激作物根系发育,使作物侧根和不定根伸长,根数增加,增加了对养分的吸收面积,提高了养分吸收量,同时还可为作物直接提供矿物养分,如氨基酸提供氮养分,增加作物体内氮素含量[30];另一方面,小分子有机物可直接或间接参与作物生长代谢来影响根部还原酶活性以及代谢物质分泌,提高根系活力,增强根系吸收和转运养分的能力,从而提高作物对养分的吸收和利用[31-33]。Tejada[34]等在竹笋上喷施氨基酸和海藻液研究发现,氨基酸和海藻液可以明显提高竹笋根、茎氮磷养分含量。Shaheen[35]等研究表明,喷施氨基酸、糖及氨基酸和糖混合物均能明显提高洋葱产量和品质,促进N、P、K、Fe、Mn、Zn和Cu养分的吸收。本研究与前人研究相似,喷施小分子有机物山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸均能促进小油菜对氮、磷、钾养分的吸收(图3),山梨醇喷施浓度与小油菜氮、磷、钾养分吸收量呈极显著二次曲线相关(表3),以喷施浓度为150～300 mg/kg时对小油菜氮、磷、钾素吸收利用效果最优;葡萄糖酸钠喷施浓度与小油菜氮、磷、钾养分吸收量间为二次曲线显著相关(表3),喷施浓度为600～1200 mg/kg时可明显提高小油菜的氮、磷、钾养分吸收量;甘氨酸喷施浓

度与小油菜钾养分吸收量相关性也达显著水平（二次曲线相关，$r = 0.861$），以喷施浓度为 120 ～ 250 mg/kg 时对小油菜吸收利用钾养分的促进效果最好。

综上所述，3 种小分子有机物在适宜喷施浓度下均能够明显地促进小油菜的生长发育和吸收利用养分，并改善其品质。其中，以喷施山梨醇 150 ～ 300 mg/kg、葡萄糖酸钠 600 ～ 1200 mg/kg、甘氨酸 120 ～ 250 mg/kg 效果最佳。

参 考 文 献：

[1] 肖艳，曹一平，王敬国，等. 提高作物叶面养分吸收的复合型助剂研究[J]. 植物营养与肥料学报，2004，10(3)：281-285.
Xiao Y, Cao Y P, Wang J G *et al*. Research of mixed adjuvants on the absorption of nutrient elements in crop leaf[J]. Plant Nutrition Fertilizer Science, 2004, 10(3): 281-285.

[2] 王强，石伟勇. 海藻肥对番茄生长的影响及其机理研究[J]. 浙江农业科学，2003，(2)：21-25.
Wang Q, Shi W Y. Effects of seaweed fertilizer on growth of tomato and the action mechanisms [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2003, (2): 21-25.

[3] 李燕婷，肖艳，李秀英，等. 作物叶面施肥技术与应用[M]. 北京：科学出版社，2009.
Li Y T, Xiao Y, Li X Y *et al*. The technology and application of crop spraying[M]. Beijing: Science and Technology Press, 2009.

[4] Kraffczy K I, Trolldenier G, Beringer H. Soluble root exudates of maize: Influence of potassium supply and rhizosphere microrganisms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1984, 16 (4): 315-322.

[5] 张夫道，孙羲. 氨基酸对水稻作用的研究[J]. 中国农业科学，1984，(5)：61-66.
Zhang F D, Sun X. A study of nutrition of amino acids in rice seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1984(5): 61-66.

[6] Chapin F S, Moilanen. L, Kieland K. Preferential usage of organic nitrogen for growth by nonmycorrhizal sedge[J]. Nature, 1993, 361: 150-153.

[7] 吴良欢，陶勤南. 水稻氨基酸态氮营养效应及其机理研究[J]. 土壤学报，2000，37(4)：464-473.
Wu L H, Tao Q N. Effects of amino acid-N on rice nitrogen nutrition and its mechanism[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(4): 464-473.

[8] 陈振德，黄俊杰，何金明，等. 土施 L-色氨酸对甘蓝产量和养分吸收的影响[J]. 土壤学报，1997，34(2)：200-204.
Cheng Z D, Huang J J, He J M *et al*. Effects of applying L-tryptophan on cabbage yield growth and its nutrient up-take[J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(2): 200-204.

[9] Arshad M. Effect of soil applied L-tryptophan on growth and chemical composition of cotton[J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18(2): 317-329.

[10] Zahir Z A, Arshad M, Azam M *et al*. Effect of an auxin precursor tryptophan and azotobacter inoculation on yield and chemical composition of potato under fertilized conditions[J]. Journal of Plant Nutrion, 1997, 20(6): 745-752.

[11] Khan A S, Ahmad B, Jaskani M J *et al*. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (ascophylum nodosum) extract improve growth and physico-chemical properties of grapes [J]. International Journal of Agriculture Biology, 2012, 14 (3).

[12] Abdel-Mawgoud A M R, El-Bassiouny A M, Ghoname A *et al*. Foliar application of amino acids and micronutrients enhance performance of green bean crop under newly reclaimed land conditions[J]. Australian Journal of Basic Applied Sciences, 2011, 5(6).

[13] 张木，胡承孝，孙学成，等. 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报，2011，30(5)：613-617.
Zhang M, Hu C X, Sun X C *et al*. Effects of spraying micronutrient and amino acids into surface of leaves on yield and quality of Chinese cabbage[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30(5): 613-617.

[14] 刘德辉，田蕾，邵建华，等. 氨基酸螯合微量元素肥料在小麦和后作水稻上的效果[J]. 土壤通报，2006，36(6)：917-920.
Liu D H, Tian L, Shao J H *et al*. Effect of amino acid chelated microelement fertilizer on wheat and rice[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 36(6): 917-920.

[15] 谭红梅. 温室豆角落花落果的原因及防治措施[J]. 北方园艺，2005(3)：23.
Tan H M. Drop causes of greenhouse carob and its control measures[J]. Northern Horticulture, 2005, (3): 23.

[16] 员妍，黄卫东，王利军，等. 植物生长调节剂对弱光下葡萄生理及光合产物分配的影响[J]. 农业工程学报，2002，18(9)：155-159.
Yuan Y, Huang W D, Wang L J *et al*. Effect of plant growth regulator on the soluble sugars and protein of leaves and partition of ^{14}C-labeled assimilates in annual grapes under low light in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(9): 155-159.

[17] 郁进元，何岩，赵忠福，等. 长宽法测定叶面积的矫正系数研究[J]. 江苏农业科学，2007，(2)：37-39.
Yu J Y, He Y, Zhao Z F, et al. Research of leaf area correction coefficient by physiology index[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2007, (2): 37-39.

[18] 赵世杰，史国安，董新纯，等. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2002.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C *et al*. Guidance of plant physiology experiments[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.

[19] 鲍士旦. 土壤农业化学分析(第三版)[M]. 北京：中国农业出版社，2000.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry ananlysis (3rd Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[20] 王莹，史振声，王志斌，等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用[J]. 中国土壤与肥料，2008（1）：6-11.
Wang Y, Shi Z S, Wang Z B *et al*. Absorption and utilization of amino acids by plant and application of amino acids on agiculture [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2008 (1): 6-11.

[21] 王宪泽，张树芹. 不同蛋白质含量小麦品种叶片 RNA 与氮素积累关系的研究[J]. 西北植物学报，1999,19(2)：315-320.
Wang X Z, Zhang S Q. The relation of RNA and nitrogen accumulation of leaves studied on the different protein concent wheat varieties[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1999,19(2): 315-320.

[22] Rolland F, Baena-Gonzalez E, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms [J]. Annual Review of Plant Biology, 2006, 57: 675-709

[23] Ho S L, Chao Y C, Tong W F *et al*. Sugar coordinately and differentially regulates growth- and stress-related gene expression via a complex signal transduction network and multiple control mechanisms[J]. Plant Physiology, 2001,125(2): 877-890.

[24] Tegeder M. Transporters for amino acids in plant cells: Some functions and many unknowns[J]. Current Opinion in Plant, Biology, 2012, 15: 315-321.

[25] Awad El-M M, Abd El-Hameed A M, El-Aimin Z A. Effect of alycine, lysine and nitrogen fertilizer rates on growth, yield and chemical composition of potato. Journal of Agricultural Science Mansoura University, 2007,32(10): 8541-8551.

[26] Mondal F, Asaduzzaman M, Kobayashi Y *et al*. Recovery from autotoxicity in strawberry by supplementation of amino acids[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 164: 137-144.

[27] 闫素芳，于洋，葛青，等. 外源蔗糖对小麦幼苗耐盐性的影响[J]. 中国生态农业学报，2012, 20(2): 225-230.
Yan S F, Yu Y, Ge Q *et al*. Effect of exogenous sucrose application on wheat seedling salt tolerance[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012,20(2): 225-230.

[28] 宋海星，李五三，欧阳中浩. 小白菜体内硝酸盐累积的生理调控初探[J]. 西北农业学报，2006, 15(2): 134-137.
Song H X, Li W Y, Primary Studies on physiological regulation of nitrate accumulation in a variety of chinese cabbage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15 (2): 134-137.

[29] 刘世亮，刘增俊，杨秋云，等. 外源糖调节不同碳氮比对烤烟生理生化特性及化学成分的影响[J]. 华北农学报，2007, 22 (6): 161-164.
Liu S L, Liu Z J, Yang Q Y *et al*. Effect of different C/N ratio on physiological and biochemical characteristics and chemical components of flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007,22(6): 161-164.

[30] Boriboonkaset T, Bunyakijjinda V, Chaum S, Kirdmanee C. Effect of exogenous sugar classes and concentrations on salt-tolerant ability of indica rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Horticulturea, 2006, 764: 155-164.

[31] 王华静，吴良欢，陶勤南. 氨基酸部分取代硝态氮对小白菜硝酸盐累积的影响[J]. 中国环境科学，2004, 24(1): 19-23.
Wang H J, Wu L H, Tao Q N. Influence of partial replacement of nitrate by amino acids on nitrate accumulation of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) [J]. China Environmental Science, 2004, 24(1): 19-23.

[32] 周伟军，奚海福，叶庆福，等. 多元醇对油菜衰老的生理调控及增产作用探讨[J]. 中国农业科学，1995, 28(3): 8-13.
Zhou W Z, Xi H F, Ye Q F *et al*. Studies on physiological regulation of mixtalol to the rape senescence and its yield effect [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28(3): 8-13.

[33] 王瑞刚，张艳春，张子义，等. 3 种渗透剂对转基因烟草根系枯草芽孢杆菌纤溶酶（BSFE）分泌的调节[J]. 植物资源与环境学报，2005, 14(2): 1-5.
Wang R G, Zhang Y C, Zhang Z Y *et al*. Regulation of three peneetrants on sercretion of Bacillus subtilis fibrinolytic enzyme from transgenic tobacco's root system [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2005, 14(2): 1-5.

[34] Tejada M, Gonzalez J L. Influence of Foliar Fertilization with amino acids and humic acids on productivity and quality of asparagus[J]. Biological Agriculture and Horticulture, 2003, 21: 277-291.

[35] Shaheen A M, Fatma A R, Hoda A M *et al*. Nitrogen soil dressing and foliar spraying by sugar and amino acids as affected the growth, yield and its quality of onion plant[J]. Journal of American Science, 2010, 6(8): 420-427.