

# Pb·Zn 胁迫对小麦生长过程中土壤蔗糖酶活性的影响

王建丽 (中石化管道储运公司, 江苏徐州 221008)

**摘要** [目的]为研究植物根际与土壤酶活性及评价土壤环境质量提供理论依据。[方法]通过盆栽试验研究了 Pb、Zn 单独及复合污染对不同生长时期小麦根区、非根区土壤蔗糖酶活性的影响。[结果]Pb 胁迫下,从幼苗期到抽穗期,根区蔗糖酶活性的增幅分别为 401%、461% 和 444%,非根区增幅分别为 365%、356% 和 405%;从抽穗期到成熟期,根区蔗糖酶活性的降幅分别为 44%、53% 和 39%,非根区降幅分别为 37%、67% 和 58%;幼苗期根区蔗糖酶活性分别下降了 67%、72% 和 72%,非根区分别下降了 68%、69% 和 72%。Zn 胁迫下,根区蔗糖酶活性的最大值与最小值之比分别为 8.87、16.45 和 7.35,非根区分别为 7.25、17.04 和 15.24。在 Pb-Zn 胁迫下,根区蔗糖酶活性的最大值分别为 178.558、175.659 和 254.752 mg/g,非根区分别为 163.237、160.338 和 149.986 mg/g。[结论]在小麦生长过程中,Pb、Zn 胁迫下根区蔗糖酶活性高于非根区。

**关键词** Pb;Zn;蔗糖酶活性;小麦

**中图分类号** X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)27-13390-03

## Influences of Pb and Zn Stress on the Invertase Activity in Soil during the Growth Process of Wheat

WANG Jian-li (Petrochemical Pipeline Storage and Transportation Company of China, Xuzhou, Jiangsu 221008)

**Abstract** [Objective] The purpose was to supply theoretical foundation for studying plant rhizosphere and soil enzyme activity and assessing soil environmental quality. [Method] The influences of individual and combined pollutions of Pb and Zn on the invertase activity in the soil in root zone and non-root zone of wheat in different growth stages were studied through potting experiments. [Result] Under Pb stress, from seedling stage to heading stage, the increase amplitudes of invertase activity in root zone were 401%, 461% and 444% resp. and that in non-root zone were 365%, 356% and 405% resp.; from heading stage to maturation stage, the decrease amplitudes of invertase activity in root zone were 44%, 53% and 39% resp. and that in non-root zone were 37%, 67% and 58% resp.; the invertase activities in root zone were decreased by 67%, 72% and 72% resp. in seedling stage and that in non-root zone were decreased by 68%, 69% and 72% resp. Under Zn stress, the ratios of maximum to minimum of invertase activity in root zone were 8.87, 16.45 and 7.35 resp. and that in non-root zone were 7.25, 17.04 and 15.24 resp. Under Pb-Zn stress, the maximums of invertase activities in root zone were 178.558, 175.659 and 254.752 mg/g resp. and that in non-root zone were 163.237, 160.338 and 149.986 mg/g resp. [Conclusion] During the growth process of wheat, under Pb and Zn stress, the invertase activity in root zone was higher than that in non-root zone.

**Key words** Pb; Zn; Invertase activity; Wheat

重金属在土壤-植物系统中的迁移转化及其生态环境效应,一直是土壤环境科学研究的热点问题<sup>[1]</sup>。土壤酶是土壤活性蛋白,在土壤养分的转化、循环和利用及降解土壤中有害物质、消除土壤污染等方面也发挥着重要作用,其活性的大小可较敏感地反映土壤中生化反应的方向和强度,这对探讨重金属污染生态效应有重要的作用<sup>[2-5]</sup>。蔗糖酶广泛存在于所有土壤里,参与碳水化合物的转化,为生物提供充分的能源,是表征土壤 C 素循环和土壤生物化学活性的重要酶<sup>[6]</sup>。虽然国内外学者对重金属污染条件下的土壤酶活性进行了大量研究,但关于植物根际环境对土壤酶活性的影响及植物不同生长时期土壤酶活性变化研究较少。因此,笔者通过盆栽试验研究了小麦生长过程中 Pb、Zn 及其交互作用对小麦根区、非根区土壤蔗糖酶活性的影响,旨在为植物根际与土壤酶活性研究及评价土壤环境质量提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 试验试剂为分析纯  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 、 $Pb(NO_3)_2$ 。供试小麦为烟农 19(购于徐州市种子分公司)。供试土壤取自中石化管道储运公司绿化用地,总氮为 9.26 g/kg,总磷 9.95 g/kg,总钾 17.00 g/kg,总铜 49.750 mg/kg,总镉 4.275 mg/kg,总铅 72.575 mg/kg,总锌 212.675 mg/kg。

**1.2 试验设计** 将 12.5 kg 土壤与所投加的重金属充分混合均匀后,装入花盆,每个花盆中播种 150 粒麦种,在自然环境中培养。试验设 3 个处理水平,Pb 处理浓度为 25、100、200 mg/kg;Zn 处理浓度为 50、200、400 mg/kg;Pb、Zn 复合处理

浓度为 25 mg/kg + 50 mg/kg、50 mg/kg + 100 mg/kg、200 mg/kg + 400 mg/kg,每个处理水平重复 1 次,同时设空白对照(CK)。

**1.3 测定项目** 分别在小麦各生长时期(I:幼苗期;II:拔节期;III:抽穗期;IV:成熟期)取根区、非根区土壤进行测定。粘附在小麦植株根部的少量土壤即为根区土壤,从植株间隙采集的即为非根区土壤,非根区土壤取样深度与根区土壤相同。蔗糖酶活性测定方法采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 1 g 土壤在 37 °C 培养 24 h 后含有的葡萄糖毫克数表示,活性单位为 mg/g<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 Pb 胁迫对小麦生长过程中土壤蔗糖酶活性的影响** 无重金属污染条件下(CK),小麦根区、非根区土壤蔗糖酶活性随小麦生长时期的推移变化趋势存在一定差异(图 1)。根区蔗糖酶活性呈先下降后上升的趋势,在拔节期出现最低值后逐渐上升并在成熟期达到最大值,这与王娟等的研究结论相似<sup>[6]</sup>;非根区酶活性呈“下降-上升-下降”趋势,在抽穗期出现最大值,之后迅速下降趋于拔节期的酶活性值。

总体而言,Pb 胁迫下根区、非根区土壤蔗糖酶活性随小麦生长时期的推移呈先上升后下降的趋势,蔗糖酶活性在抽穗期达最大值。从幼苗期到抽穗期,根区蔗糖酶活性增幅分别为(按处理浓度由低到高,下同)401%、461%、444%,非根区增幅分别为 365%、356%、405%;从抽穗期到成熟期,根区蔗糖酶活性降幅分别为 44%、53%、39%,非根区降幅分别为 37%、67%、58%。

与对照组比,Pb 胁迫对根区、非根区蔗糖酶活性的影响

**作者简介** 王建丽(1968-),女,江苏丰县人,中级工程师,从事环境管理方面的研究。

**收稿日期** 2009-08-04

随小麦生育期的不同存在一定差异。总体而言,在小麦生长前期(幼苗期、拔节期),添加不同浓度 Pb 对根区、非根区蔗糖酶活性有一定的抑制作用,且在幼苗期表现显著,与对照相比,根区蔗糖酶活性分别下降了 67%、72%、72%,非根区分别下降了 68%、69%、72%。在抽穗期,Pb 的添加对根区蔗糖酶活性表现为明显的激活作用,而对非根区则表现为抑制作用,在处理浓度为 25 mg/kg 时,根区蔗糖酶活性比对照提高了 85%,非根区下降了 12%,这可能是由于小麦根系产生的某些分泌物使蔗糖酶对 Pb 产生了拮抗作用<sup>[8-9]</sup>。在成

熟期,根区、非根区蔗糖酶活性趋于对照组,但 Pb 对根区蔗糖酶活性主要表现为抑制作用,对非根区表现为一定的激活作用(除浓度 100 mg/kg),这可能与根区蔗糖酶活性的拮抗作用下降,以及根区、非根区 Pb 形态的重新分布等因素有关<sup>[9]</sup>。Pb 胁迫下蔗糖酶活性总体上表现为根区大于非根区,这与刘登义等对铜陵铜矿区凤丹根际和非根际土壤酶活性的研究结果相似<sup>[10]</sup>,这可能与根际土壤中根分泌物和根际微生物活动有关,它促使植物根际的酶促过程比根际外强得多<sup>[11]</sup>。

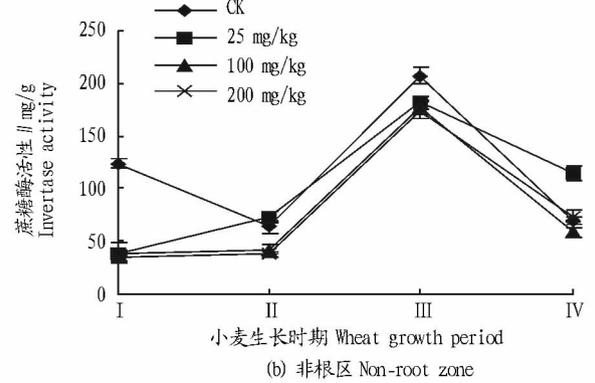
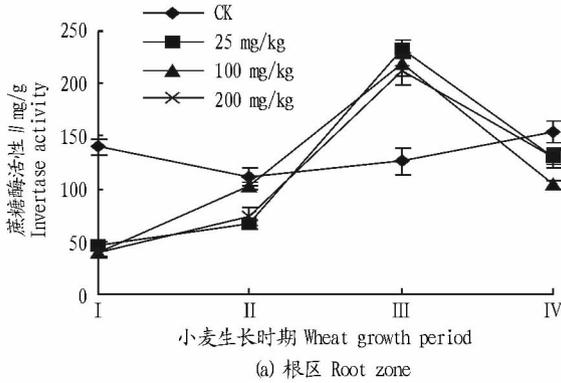


图 1 Pb 胁迫下小麦根区、非根区土壤蔗糖酶活性

Fig. 1 Soil invertase activity of root zone and non-root zone of wheat under Pb stress

**2.2 Zn 胁迫对小麦生长过程中土壤蔗糖酶活性的影响** 由图 2 可以看出,Zn 胁迫下土壤蔗糖酶活性(根区、非根区)随小麦生长时期的推移呈波状变化,蔗糖酶活性最小值出现在拔节期,最大值出现在抽穗期,根区最大值与最小值之比分别为 8.87、16.45、7.35,非根区分别为 7.25、17.04、15.24。从图 2 还看出,在小麦生长前期,Zn 的添加均明显抑制了土壤蔗糖酶活性,如在低处理浓度作用下,幼苗期、拔节期根区蔗糖酶活性分别为对照组的 47%、12%,非根区分别为 52%、39%。从拔节期到抽穗期,处理组土壤蔗糖酶活性发生极大的跃迁,非根区蔗糖酶活性趋于对照组,根区达到或高于对照组,抽穗期根区蔗糖酶活性分别为对照组的 96%、157%、174%,增幅分别为 786%、1 545%、634%,这可能与受试作物、重金属含量及作物所处时期土壤重金属化学形态和微生物数量及类群不同有关<sup>[12-14]</sup>,而且锌作为植物生长的必需元素,它参与多种酶的合成,也在一定程度上促进小麦分泌

更多的蔗糖酶,具体原因有待于进一步研究。从抽穗期到成熟期,土壤蔗糖酶活性又大幅度下降,但其值均高于拔节期,根区处理组蔗糖酶活性逐渐下降到对照水平线之下,随着时间的推移表现出明显的抑制作用,酶活性最低为对照的 37%;而非根区蔗糖酶活性虽然也有大幅下降,但在成熟期高、低处理浓度下高于对照,表现出一定程度的激活作用。

土壤酶活性改变可能发生在多个环节上,污染物可直接作用于酶分子本身,或干扰了土壤微生物的种类组成、生物量和活性,或影响作物的代谢活力,或改变土壤中某些化感物质的浓度和活性等<sup>[15-16]</sup>。小麦不同生育期中,Zn 对根区、非根区蔗糖酶活性的影响具体发生在哪一环节还需进一步研究。总体来说,Zn 胁迫下根区蔗糖酶活性大于非根区,但在低处理浓度作用下出现了非根区大于根区的现象,这可能与小麦根区环境与 Zn 之间的作用机制等有关。

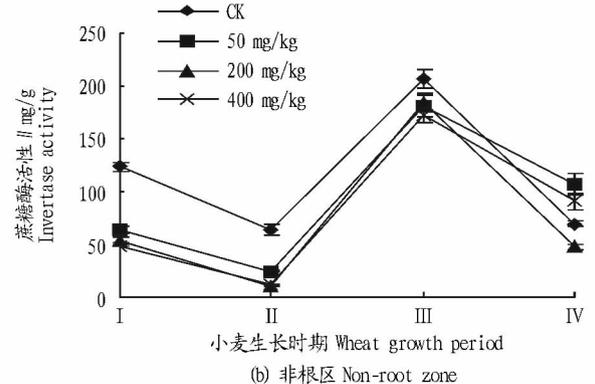
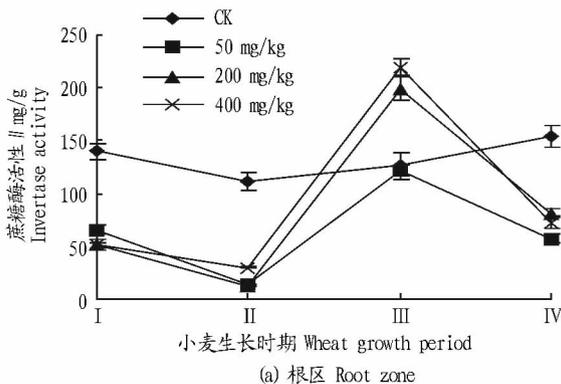


图 2 Zn 胁迫下小麦根区、非根区土壤蔗糖酶活性

Fig. 2 Soil invertase activity of root zone and non-root zone of wheat under Zn stress

### 2.3 Pb-Zn 胁迫对小麦生长过程中土壤蔗糖酶活性的影响

小麦生长过程中, Pb-Zn 交互作用下土壤蔗糖酶活性在抽穗期之前呈先上升后下降趋势, 之后变化趋势随处理浓度不同存在一定差异 (图 3), 但酶活性最大值均出现在拔节期, 根区分别为 178.558、175.659、254.752 mg/g, 非根区分别为 163.237、160.338、149.986 mg/g。从幼苗期到拔节期, Pb-Zn 交互作用下土壤蔗糖酶活性均呈上升趋势, 并明显高于对照组, 在高处理浓度作用下, 根区、非根区蔗糖酶活性分别为对照组的 229%、236%, 说明此阶段土壤蔗糖酶对 Pb-Zn 复合污染有较强的拮抗作用, Pb-Zn 对其抑制作用逐渐转化为明显的激活作用。从拔节期到抽穗期, 土壤蔗糖酶活性有明显

地下降, 除根区低处理浓度作用外, 土壤蔗糖酶活性均下降到对照水平线之下, 且非根区各处理浓度下均表现显著, 与对照组相比分别下降了 61%、84%、68%, 明显受到了 Pb-Zn 复合污染的抑制作用。从抽穗期到成熟期, 低处理浓度作用下土壤蔗糖酶活性呈下降趋势; 高处理浓度作用下呈上升趋势; 中等处理浓度作用下根区蔗糖酶活性趋于平缓, 非根区呈上升趋势。在成熟期, Pb-Zn 交互作用抑制了根区蔗糖酶活性及低处理浓度作用下的非根区蔗糖酶活性, 而对非根区中、高处理浓度作用下的蔗糖酶活性表现为激活作用。与 Pb、Zn 作用相一致, Pb-Zn 交互作用下根区蔗糖酶活性大于非根区。

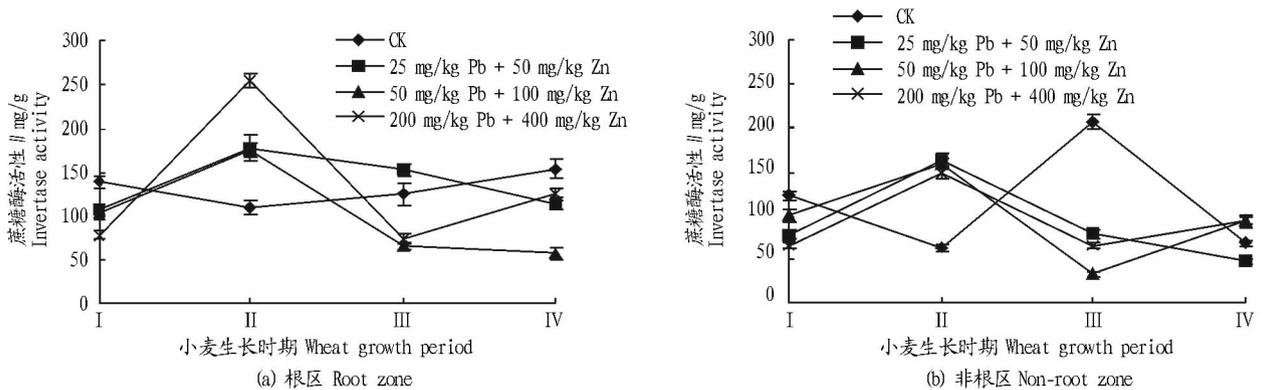


图3 Pb-Zn 交互作用下小麦根区、非根区蔗糖酶活性

Fig. 3 Soil invertase activity of root zone and non-root zone of wheat stressed by the interaction of Pb and Zn

结合图 1、2、3 还可看出, 与 Pb、Zn 单因素比, Pb-Zn 交互作用对土壤蔗糖酶活性的影响不同, 随小麦生育期及重金属处理浓度的不同而存在一定差异。总体而言, 在小麦生长前期, Pb-Zn 交互作用处理土壤蔗糖酶活性明显高于单因素处理, 说明 Pb-Zn 交互作用明显减弱了 Pb、Zn 对土壤蔗糖酶活性的抑制作用。在抽穗期, Pb-Zn 交互作用明显减弱了单因素对根区蔗糖酶活性的激活作用, 并在高处理浓度下表现出一定的抑制作用, 而对非根区蔗糖酶活性则表现为显著增强了单因素的抑制作用。在成熟期, Pb-Zn 交互作用降低了 Pb 单因素作用下的根区蔗糖酶活性, 同时均降低了单因素低处理浓度下的非根区蔗糖酶活性, 而对其他处理均表现为增大作用。植物根际环境使重金属复合污染对土壤酶活性的作用机理变得更为复杂, 与多种因素相关, 因此上述结论的具体原因有待于进一步深入研究。

### 3 结论

(1) 总体而言, Pb、Zn 胁迫下土壤蔗糖酶活性随小麦生长时期推移的变化趋势为: Pb 胁迫下蔗糖酶活性 (根区、非根区) 呈先上升后下降趋势; Zn 胁迫下蔗糖酶活性呈“下降-上升-下降”趋势; Pb-Zn 交互作用下蔗糖酶活性在抽穗期之前呈先上升后下降趋势, 之后变化趋势随处理浓度不同存在一定差异。土壤蔗糖酶活性最大值出现在拔节期或抽穗期。

(2) 与对照组比, 总体来说, Pb、Zn 单独胁迫在小麦生长前期对土壤蔗糖酶活性呈抑制作用; 在抽穗期, 对根区蔗糖酶活性呈激活作用, 对非根区呈抑制作用; 在成熟期, 对根区蔗糖酶活性呈抑制作用, 对非根区呈激活作用。Pb-Zn 复合

污染对土壤蔗糖酶活性在幼苗期表现为抑制作用, 在拔节期表现为激活作用, 而在小麦生长后期则随处理浓度不同存在一定差异。

(3) Pb-Zn 交互作用在小麦生长前期明显减弱了 Pb、Zn 单独作用对土壤蔗糖酶活性的抑制作用, 而在小麦生长后期对 Pb、Zn 单独作用对根区、非根区蔗糖酶活性的影响随重金属处理浓度的不同存在一定差异。

(4) 总体来说, 在小麦生长过程中, Pb、Zn 胁迫下根区蔗糖酶活性大于非根区。

### 参考文献

- [1] 郑国璋. 农业土壤重金属污染研究的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 8-15.
- [2] 李廷强, 朱恩, 杨肖娥, 等. 超积累植物东南景天根际土壤酶活性研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 112-117.
- [3] 龙健, 黄昌勇, 滕应, 等. 矿区废弃地土壤微生物及其生化活性[J]. 生态学报, 2003(3): 496-503.
- [4] 罗虹, 刘鹏, 宋小敏. 重金属镉、铜、镍复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 94-96.
- [5] 许超, 夏北成, 冯涓. 酸性矿山废水污染对稻田土壤酶活性影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1803-1808.
- [6] 王娟, 刘淑英, 王平, 等. 不同施肥处理对西北半干旱区土壤酶活性的影响及其动态变化[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 299-303.
- [7] 周礼凯, 张志明. 土壤酶的测定方法[J]. 土壤通报, 1980, 11(5): 37-38.
- [8] 和文祥, 朱铭我, 张一平. 土壤酶与重金属关系的研究现状[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 139-142.
- [9] 段学军, 闵航. Cd 胁迫下稻田土壤生物活性与酶活性综合研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 422-427.
- [10] 刘登义, 沈章军, 严密, 等. 铜陵铜矿区凤丹根际和非根际土壤酶活性[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1315-1320.
- [11] 孟立君, 吴凤芝. 土壤酶研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(5): 622-623.

液化 100 min 时液化率才达到 70%。EC 液化效果好是因为它的介电常数高。通过分析选择 EC 为液化剂。

**2.2 催化剂的确定** 由表 2 可知,以浓硫酸为催化剂,EC 和 EC + EG 对玉米秸秆的液化率都很高,接近 80%;以磷酸为催化剂二者的液化率接近 50%;以浓盐酸为催化剂,EC 对玉米秸秆的液化率不到 24%,EC + EG 对玉米秸秆的液化率仅 11%;碳酸钠和氢氧化钠对玉米秸秆的液化率不到 5%。由此可见,酸为催化剂对玉米秸秆的液化较为有效,其中浓硫酸最好。

表 1 不同液化剂和液化时间对玉米秸秆液化率的影响

Table 1 The effects of different liquefaction solvents and time on the liquefaction rate of maize stalk %

液化剂 Liquefaction solvent	液化时间 Liquefaction time//min				
	20	40	60	80	100
EC Ethylene carbonate	68.37	75.16	78.37	81.26	84.98
PEG <sup>400</sup> + 甘油	41.76	59.86	69.56	75.13	78.46
Polyethylene glycol + Glycerin					
EG Ethylene glycol	32.36	50.38	59.87	62.16	71.34
EC + EG	67.98	74.76	77.12	80.38	82.87
Ethylene carbonate + Ethylene glycol					

表 2 不同催化剂对玉米秸秆液化率的影响

Table 2 The effects of different catalysts on the liquefaction rate of maize stalk %

催化剂 Catalyst	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaOH
	Sulphuric acid	Hydrochloric acid	Phosphoric acid	Sodium carbonate	Sodium hydroxide
EC	78.37	22.46	47.62	1.91	3.02
Ethylene glycol					
EC + EG	77.12	11.23	49.38	4.78	2.96
Ethylene carbonate + Ethylene glycol					

**2.3 液化工艺的优化** 由表 3 可知,3 个因素对液化率影响的主次顺序为:液化温度(B) > 催化剂用量(C) > 液化时间(A)。从各因素的影响水平看,液化时间太长,液化率反而降低;温度适宜有利于玉米秸秆液化。这是因为秸秆的化学组成非常复杂,构成秸秆细胞壁的物质绝大多数属于高分子化合物,低温不利于它们的水解。同时,当温度达到一定程度时,已水解的部分小分子化合物可以重新聚合,生成新的大分子,还有部分焦结成碳现象,导致反应速度减慢,液化率降低。增大催化剂用量有利于秸秆液化。较优液化工艺条件为:A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即液化时间 1.0 h,液化温度 160 ℃,催化剂用量 3%。按优化工艺进行试验,重复 3 次,液化率为 90.56%。

表 3 液化方案与结果分析

Table 3 Liquefaction scheme and result analysis

试验号 Test No.	A 液化时间//h Liquefaction time	B 液化温度//℃ Liquefaction temperature	C 催化剂用量//% Catalyst dosage	y 液化率//% Liquefaction rate
1	1(0.5)	1(120)	1(2.0)	43.43
2	1(0.5)	2(160)	2(3.0)	87.87
3	1(0.5)	3(200)	3(4.0)	60.35
4	2(1.0)	1(120)	3(4.0)	57.36
5	2(1.0)	2(160)	1(2.0)	78.37
6	2(1.0)	3(200)	2(3.0)	58.12
7	3(1.5)	1(120)	2(3.0)	52.38
8	3(1.5)	2(160)	3(4.0)	91.36
9	3(1.5)	3(200)	1(2.0)	42.96
K <sub>1</sub>	191.65	153.17	164.76	
K <sub>2</sub>	193.85	257.60	198.37	
K <sub>3</sub>	186.70	161.43	209.07	
k <sub>1</sub>	63.88	51.06	54.92	T = 572.20
k <sub>2</sub>	64.62	85.87	66.12	y = 63.58
k <sub>3</sub>	62.23	53.81	69.69	
R <sub>j</sub>	2.42	34.81	14.77	

### 3 结论

(1) EC 和 EC + EG 混合溶剂在较短的时间内能获得较高的液化率,优于其他 2 种液化剂,是玉米秸秆较好的液化剂。

(2) 选用酸、碱以及碱式盐为催化剂对玉米秸秆进行液化试验,酸的催化效果较好,其中浓硫酸效果最好。

(3) 液化温度是决定液化率的最主要因素,其次是催化剂用量,影响最小的是液化时间。较优液化工艺条件为:A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即液化时间 1.0 h,液化温度 160 ℃,催化剂用量 3%。

总之,采用较优液化工艺液化玉米秸秆可获得较高的液化率。工艺简单可行,成本低,适合工业化生产,为玉米秸秆的液化提供了可行的优化工艺。

### 参考文献

- [1] DEMIRBAS A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals[J]. Energy Conversion and Management, 2001, 42:1357 - 1378.
- [2] 钱学仁,李坚. 木材亚 - 超临界流体非等温萃取特性研究[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 117 - 124.
- [3] 李伟,蔺树生,谭豫之. 作物秸秆综合利用的创新技术[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 14 - 17.
- [4] FIERZ H E. Chemistry of wood utilization[J]. Chemistry and Industry Review, 1925, 44: 942.
- [5] CELEGHINI E A, CELEGHINI D S, RENATA M, et al. Experimental variables and their effects on the liquefaction of cellulose from sugar cane bagasse[J]. Energy Sources, 2001, 23: 93 - 99.
- [6] CELEGHINI R M S, LANCAS F M. Optimization of the direct liquefaction of lignin obtained from sugar cane bagasse[J]. Energy Sources, 2001, 23: 369 - 375.

(上接第 13392 页)

- [12] 刘霞,刘树庆,王胜爱. 河北主要土壤中重金属镉、铅形态与土壤酶活性的关系[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(1): 33 - 37.
- [13] 石汝杰,陆引罡,丁美丽. 植物根际土壤中铅形态与土壤酶活性的关系[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(3): 225 - 229.
- [14] 高明,周宝同,魏朝福,等. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1177 - 1181.

- [15] 许嘉琳,杨居荣. 土壤生态系统中的重金属[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1995: 157 - 206.
- [16] 苏静,欧今次仁,尼霞次仁,等. 德兴铜矿周边地区土壤酶活性研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(5): 357 - 360, 370.