

# P-Zn 组合对小麦生长、产量和籽粒含氮量的影响

尹恩<sup>1,2</sup>, 武际<sup>1</sup>, 郭熙盛<sup>3,4\*</sup>

(1. 安徽农业大学研究生学院, 安徽合肥 230036; 2. 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 安徽合肥 230031; 3. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽合肥 230031; 4. 农业部蒙城砂姜黑土土壤生态环境重点野外科学观测试验站, 安徽蒙城 233500)

**摘要** [目的] 探讨P、Zn组合对小麦生长的影响机理。[方法] 采用盆栽试验, 研究砂姜黑土中P、Zn配施对小麦生长期产量以及籽粒氮素含量的影响。[结果] 结果表明, 小麦苗期和抽穗期P、Zn呈协同关系, 成熟期明显出现P、Zn拮抗。适当的P、Zn配比有利于小麦籽粒产量的提高和经济效益的增加。P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.2</sub>处理的产量最高, 与其他处理间在0.05水平有差异, P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.4</sub>、P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.2</sub>、P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.4</sub>间的产量在0.05水平无差异, Zn<sub>0</sub>处理的产量最低。[结论] 低P背景下, 施Zn肥能促进小麦根系的生长; 高P背景下, 施适量Zn肥能促进小麦根系生长, 但高Zn时出现P、Zn拮抗。

**关键词** 小麦; P、Zn配施; 产量; 氮素吸收

中图分类号 S512.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)15-06920-03

## Effects of P and Zn Combination on the Growth, Yield and Kernel Nitrogen Content of Wheat

YI N En et al (Graduate School of Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract** [Objective] The research aimed to discuss the influence mechanism of P and Zn on the growth of wheat. [Method] Pot experiment was used to study the effects of P and Zn combination on the growth, yield and kernel nitrogen content of wheat in line concrete black soils. [Result] In seedling stage and earing time of wheat, P and Zn showed synergic relationship. In mature period P and Zn showed rivalry relationship. Suitable P and Zn allocated proportion was advantageous to the wheat grain output enhancement and economic efficiency increase. The processing of P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.2</sub> output was highest, achieved the 0.05 level difference. The processing of P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.4</sub>, P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.2</sub> and P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.4</sub> volume variance was not remarkable, the processing of Zn<sub>0</sub> output was lowest. [Conclusion] Under the environment of low P concentration in soil, Zn application could promote the growth of wheat root system. Under the environment of high P concentration, suitable Zn application could promote the growth of wheat root system, while too much Zn application could induce the rivalry of P and Zn.

**Key words** Wheat; P and Zn combined application; Yield; Absorption of N

P是植物生长所需的大量元素, 在土壤和植株体中易和微量元素发生作用, 其中P、Zn关系的研究一直是各国学者普遍关注的问题<sup>[1-3]</sup>。有研究表明大量施用P肥会诱导作物缺Zn, P、Zn呈拮抗作用<sup>[4]</sup>; 但有人认为施P能促进作物对Zn元素的吸收<sup>[5]</sup>; 也有研究者认为P、Zn关系与土壤P背景含量有关, 低P背景时呈协同关系, 高P背景时呈拮抗关系<sup>[6]</sup>; 也有研究表明, 虽然土壤中P、Zn呈协同关系, 但作物体内P、Zn仍呈拮抗关系, 不受土壤中P、Zn关系影响<sup>[7]</sup>。总之, 由于土壤理化性质的复杂性, 作物的多样性, 有关土壤-植物系统中P、Zn关系的研究结果并不一致。笔者选择安徽蒙城砂姜黑土为背景, 研究了P、Zn配施对小麦生长、产量以及籽粒氮素含量的影响。

### 1 材料与试验方法

**1.1 供试土壤** 盆栽试验在农业部蒙城砂姜黑土土壤生态环境重点野外科学观测试验站进行。土壤类型为普通砂姜黑土, 其理化性质为: 有机碳24.19 g/kg, 碱氮84.50 mg/kg, 全P 0.21 g/kg, 速效K 162.48 mg/kg, 速效P 18.11 g/kg, pH值7.67, 有效Zn 1.93 mg/kg。

**1.2 试验设计** P设2个水平, 分别为0.3、0.9 g(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)/kg(分别用P<sub>0.3</sub>、P<sub>0.9</sub>表示); Zn设3个水平, 分别为0、0.2、0.4 g(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)/kg(分别用Zn<sub>0</sub>、Zn<sub>0.2</sub>、Zn<sub>0.4</sub>表示)。随机区组设计, 每个处理重复6次。

土壤自然风干后过10 mm筛, 氮肥与钾肥均以0.17 mg/kg(N, K<sub>2</sub>O)的质量分数施入土壤, P、Zn依设计水平以溶液的形式加入土壤。充分与土壤混匀后装盆。采用直径26

cm、高22 cm的塑料盆, 每盆装土5 kg。供试肥料和试剂: 氮肥-尿素(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, N为46.0%); 钾肥-氯化钾(KCl, K<sub>2</sub>O 60%), P肥-P酸二氢钠(NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, AR), Zn肥-硫酸Zn(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, AR)。

用去离子水浇灌至土壤田间持水量的70%, 放置1 h后播入麦种20粒。3叶期定苗, 每盆15株, 生长期定量浇灌去离子水。供试品种为强筋小麦烟农19。

**1.3 测定方法** 每次采样后, 把根、穗和茎叶分开, 用去离子水冲洗后杀青、烘干、称重。土壤速效P采用Olsen方法; 速效Zn采用DTPA浸提-原子吸收法; 植株氮采用凯氏定氮法<sup>[8]</sup>。

### 2 结果与分析

**2.1 不同P、Zn处理对小麦各生育时期根系重的影响** 由表1可见, 在P<sub>0.3</sub>和P<sub>0.9</sub>2个水平下, 苗期小麦根重随Zn肥用量的增加而增加, 增幅与用量呈正相关关系。Zn肥相同时, P<sub>0.9</sub>水平根重相对于P<sub>0.3</sub>水平有所增加, 加大P肥用量可促进苗期小麦根系的生长。抽穗期小麦根系重达到最高峰。随着Zn肥用量的增加, 小麦根重增加。在P<sub>0.9</sub>水平下, Zn<sub>0.4</sub>水平的增幅下降。Zn肥用量相同时, P<sub>0.9</sub>水平根重相对于P<sub>0.3</sub>水平有所增加, 增幅随Zn水平的提高而降低。与拔节期相比, 成熟期小麦根系重量呈下降趋势。小麦成熟期根重随着Zn肥用量的增加呈增加趋势。高P水平时, Zn<sub>0.4</sub>处理的增幅降低。不施Zn肥或施适量Zn肥时, P<sub>0.9</sub>处理根重相对于P<sub>0.3</sub>处理有所增加。施高Zn时, P<sub>0.9</sub>水平根重较P<sub>0.3</sub>水平有所减少。P和Zn可促进小麦根系的生长发育, 苗期的效果最为明显。高P高Zn组合对根系生长发育的促进作用, 随生育期进程逐渐降低, 对成熟期小麦根系生长则有不利的影 响。这也表明在低P背景下, 施Zn肥能促进小麦根系的生长; 在高P背景下, 施适量Zn肥能促进小麦根系生长, 但高Zn时出现

基金项目 国家科技项目(2008BAD4B08)。

作者简介 尹恩(1984-), 男, 安徽颍上人, 硕士研究生, 研究方向: 植物营养。\*通讯作者, E-mail: gxssfaa@mail.hf.ah.cn。

收稿日期 2009-04-01

P、Zn 拮抗。

表1 不同P、Zn 处理小麦各生育时期根系重量

**Table 1 The root weight of wheat in different growth stage under different treatments of P and Zn** g/盆

处理		苗期	抽穗期	成熟期
Treatment		Seeding stage	Heading stage	Mature stage
P <sub>0.3</sub>	Zn <sub>0</sub>	3.55	9.77	7.38
	Zn <sub>0.2</sub>	4.06	10.90	7.61
	Zn <sub>0.4</sub>	5.36	12.28	9.24
P <sub>0.9</sub>	Zn <sub>0</sub>	4.51	12.39	8.16
	Zn <sub>0.2</sub>	6.53	13.67	8.50
	Zn <sub>0.4</sub>	6.97	13.13	8.41

**2.2 不同P、Zn 处理对小麦各生育时期叶片和茎秆总重的影响** 由图1可以看出,2种P水平下,苗期小麦茎叶总重随着Zn肥用量的增加都呈增加趋势,高P水平增幅小于低P水平。不施Zn肥或施适量Zn肥时,P<sub>0.9</sub>处理的茎叶总重相对于P<sub>0.3</sub>处理有所增加。施Zn量高时,P<sub>0.9</sub>处理的茎叶总重相对于P<sub>0.3</sub>处理有所减少。这说明Zn水平较高时,加大P肥用量,对小麦地上部生长有不利影响。

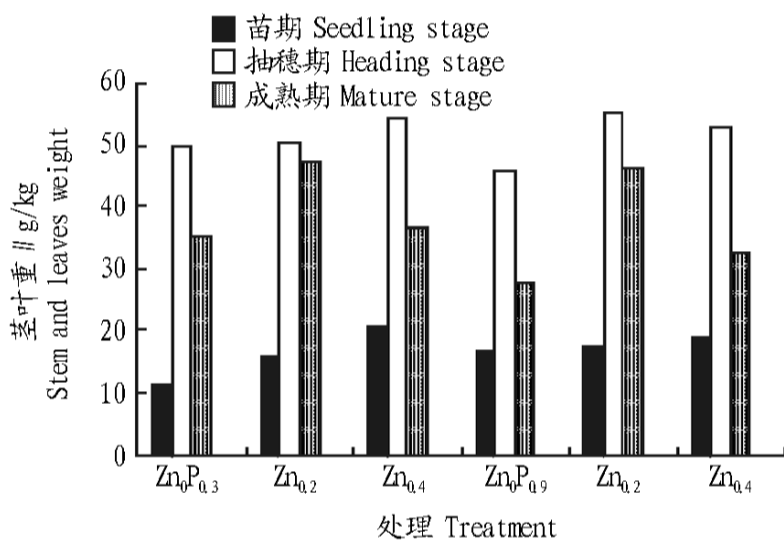


图1 不同P、Zn 处理小麦各生育时期茎叶重

**Fig.1 The stem and leaves weight of wheat in different growth stage under different treatments of P and Zn**

抽穗期茎叶总重大幅度增加。随着Zn肥用量的增加,P<sub>0.3</sub>水平的小麦茎叶总重增加,P<sub>0.9</sub>水平的小麦茎叶总重增幅先升后降。Zn水平相同时,加大P肥用量,降低无Zn和高Zn处理的茎叶总重,Zn<sub>0.2</sub>处理的茎叶总重则有所提高,说明加大P肥用量,且适当P/Zn比例组合可促进小麦地上部分的生长。

P<sub>0.3</sub>和P<sub>0.9</sub>2个水平下,随着Zn肥用量的增加,成熟期茎叶总重的增幅都呈先升后降趋势。不施Zn肥或施高量Zn肥时,高P处理茎叶总重明显低于低P处理的。高P组合和高Zn组合对成熟期茎叶生长不利。

### 2.3 不同P、Zn 处理对小麦各生育时期总生物量的影响

由表2可见,在P<sub>0.3</sub>和P<sub>0.9</sub>2个水平下,苗期和抽穗期的小麦总生物量随Zn用量的增加均呈直线增加趋势;成熟期则均先增加后减少。随着P用量的增加,高Zn(Zn<sub>0.4</sub>)处理3个生育期小麦生物量减少。适当施Zn(Zn<sub>0.2</sub>)能提高苗期和抽穗期小麦总生物量,但降低了成熟期小麦总生物量。不施Zn仅施P,苗期总生物量增加,但抽穗期和成熟期总生物量降低。从总生物量数据可以看出,苗期和抽穗期P、Zn呈协同

关系,成熟期明显出现P、Zn拮抗。

表2 不同处理小麦各生育时期总生物量

**Table 2 The total biomass of wheat in different growth stage under different treatments of P and Zn** g/盆

处理		苗期	抽穗期	成熟期
Treatment		Seeding stage	Heading stage	Mature stage
P <sub>0.3</sub>	Zn <sub>0</sub>	15.06	72.53	92.91
	Zn <sub>0.2</sub>	19.77	79.67	114.96
	Zn <sub>0.4</sub>	26.06	89.26	101.39
P <sub>0.9</sub>	Zn <sub>0</sub>	21.09	70.50	76.06
	Zn <sub>0.2</sub>	23.97	84.21	107.65
	Zn <sub>0.4</sub>	25.77	88.53	96.67

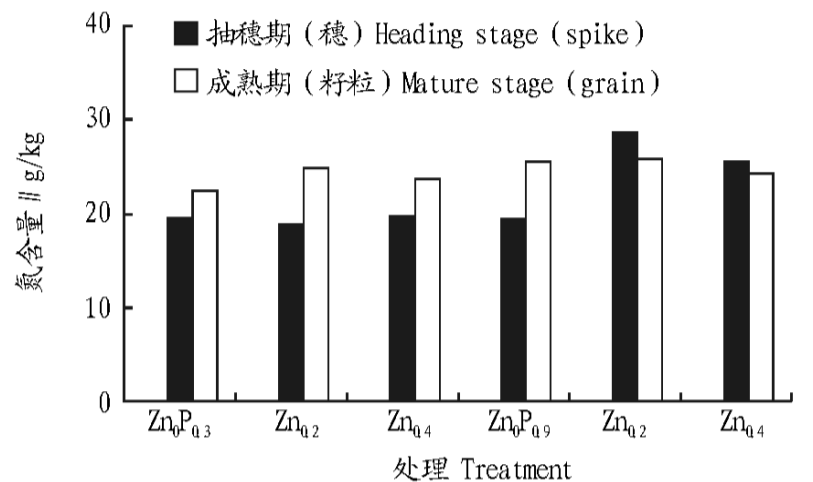


图2 不同P、Zn 处理小麦各生育时期生殖器官氮含量

**Fig.2 Nitrogen content in the reproductive organ weight of wheat in different growth stage under different treatments of P and Zn**

### 2.4 不同P、Zn 处理对小麦各生育时期生殖器官重的影响

由表3可看出,小麦籽粒产量随Zn肥用量的增加而增加;施Zn可提高小麦籽粒含量。低P水平下,高Zn处理的产量明显下降,与Zn<sub>0.2</sub>处理的产量差异显著。Zn水平相同时,提高P素营养水平,无Zn处理和Zn<sub>0.2</sub>处理的产量显著降低,而Zn<sub>0.4</sub>处理含量则无明显差异,且略高于低P处理。这表明高P水平下,加大Zn肥用量可减小因P肥用量过大造成的产量降低的程度。

由表3还可看出,几个不同的P、Zn组合中,P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.2</sub>处理的产量最高,与其他处理在0.05水平有差异,P<sub>0.3</sub>Zn<sub>0.4</sub>、P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.2</sub>、P<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.4</sub>间的产量在0.05水平无差异,Zn<sub>0</sub>处理的产量最低。适当的P、Zn配比有利于小麦籽粒产量的提高和经济效益的增加。

表3 不同P、Zn 处理小麦各生育时期生殖器官重

**Table 3 The reproductive organ weight of wheat in different growth stage under different treatments of P and Zn** g/盆

处理		抽穗期(穗)	成熟期(籽粒)
Treatment		Heading stage (spike)	Mature stage (grain)
P <sub>0.3</sub>	Zn <sub>0</sub>	12.82 d	50.43 c
	Zn <sub>0.2</sub>	18.35 b	59.90 a
	Zn <sub>0.4</sub>	22.65 a	55.40 b
P <sub>0.9</sub>	Zn <sub>0</sub>	12.19 d	40.10 d
	Zn <sub>0.2</sub>	15.51 c	52.60 bc
	Zn <sub>0.4</sub>	22.43 a	55.67 b

注:不同小写字母表示在0.05水平有差异。

Note: Different small letters mean difference at 0.05 level.

### 2.5 不同P、Zn 处理对小麦各生育时期生殖器官氮含量的影响

由图2可看出,施P量增加,抽穗期穗部和成熟期小麦籽粒的氮含量均增加。随着施Zn量的增加,抽穗期穗部

和成熟期小麦籽粒氮含量均先增加后减少。高P施Zn处理,抽穗期穗部氮含量增加幅度大,成熟期籽粒氮含量增加幅度减小。高P高Zn组合处理氮含量降低,说明P、Zn拮抗关系对氮素吸收和氮素转运有不利影响。

### 3 结果与讨论

(1) 低P背景下,施Zn肥能促进小麦根系的生长;高P背景下,施适量Zn肥能促进小麦根系生长,但高Zn时出现P、Zn拮抗,这与甄清香等的研究结果相似<sup>[6]</sup>。

(2) 不同处理各生育期小麦植株茎叶总重变化表明,苗期P、Zn呈协同关系,抽穗期高P处理出现P、Zn拮抗,成熟期2个P水平都表现出P、Zn拮抗;从总生物量数据可以看出:苗期和抽穗期P、Zn呈协同关系,成熟期明显出现P、Zn拮抗。这说明P、Zn拮抗作用发生在成熟期,P、Zn呈协同作用发生在苗期,抽穗期为P、Zn关系过渡期,高P高Zn易出现P、Zn拮抗,P、Zn比例适当可以避免发生P、Zn拮抗。高P高Zn出现P、Zn拮抗可能是由于增加了土壤供P水平,植株根部积累的P与Zn结合成不溶性的酪酸盐沉淀。其结果一方面抑制了Zn向地上部转运,另一方面使得地上部P的含量急剧上升,造成叶片内P/Zn比例失调。苗期根部P、Zn积累量还未构成转运抑制,随着根部P、Zn积累量的增加,成熟期出现了转运抑制。

(3) 产量分析结果表明: $P_{0.3}Zn_{0.2}$ 处理产量最高,与其他处理间在0.05水平有差异。 $Zn_0$ 处理的产量最低。适当的P、Zn配比有利于小麦籽粒产量的提高和经济效益的增加。这说明:P用量适当,Zn水平过高,易造成P素营养不足,导致增产幅度降低;高P水平,导致Zn营养缺乏,施Zn增产效果显著。一种观点认为“P诱导缺Zn”导致了叶片中Zn的绝对含量下降<sup>[9]</sup>。Parker等认为这是过量的P引起Zn的“生理钝化作用”<sup>[10]</sup>。但“钝化作用”的机制尚不清楚<sup>[11]</sup>。Zn被过

量的P束缚于细胞壁无法进入细胞质内参与生理代谢作用可能是植株缺Zn的主要原因。液泡被认为是贮存养分的库,起着养分调节的缓冲作用。植株体内过量的P使液泡中Zn的含量也明显下降,因而加剧了细胞的缺Zn状态。

(4) 不同P、Zn处理对小麦各生育时期生殖器官氮含量的分析结果表明:高P高Zn并不能增加小麦生殖器官的氮素含量,高P中Zn才能提高小麦品质。韩金玲等认为施Zn促进小麦开花前后氮素的吸收积累及开花后向籽粒的运转,增加各器官尤其是子粒的N积累量<sup>[12]</sup>。这充分论证了试验中 $Zn_{0.2}$ 水平相对 $Zn_0$ 水平氮含量增加的合理性。 $Zn_{0.4}$ 水平相对于 $Zn_{0.2}$ 氮含量减少,这说明此时植物体内Zn含量超过临界水平,影响了N向籽粒运输。

### 参考文献

- [1] LONERAGAN J F, GROVE T S, ROBSON A D, et al. Toxicity as a factor in Zn-P interactions in plants [J]. Soil Science Society of American Journal, 1974, 43: 966-972.
- [2] 练春兰, 鲍士旦, 史瑞和. 大麦P、Zn相互关系的研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 282-289.
- [3] 杨志敏, 郑绍建, 胡霭堂. 植物体内P与重金属元素Zn、Cd交互作用的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 366-376.
- [4] 刘铮. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 193-232.
- [5] 王海啸, 武丕武. P、Zn施用量对苗期玉米吸收Zn、Cu、Mn的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(6): 257-260.
- [6] 甄清香, 刘世铎, 马金占, 等. 甘肃主要农业土壤P、Zn关系的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1995, 30(4): 298-302.
- [7] 李延, 潘伟彬. P肥施用量对缺Zn土壤上水稻生长的影响[J]. 热带亚热带土壤科学, 1994, 3(4): 60-263.
- [8] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [9] ALINA K P, HENRY K P. Trace elements in soil and plants [M]. London: CRP Press, 1996: 110-124.
- [10] PARKER D R, AGUILERA J J, THOMAS D N. Zinc-phosphorus in two cultivars of tomato grown in chelate-buffered nutrient solutions [J]. Plant and Soil, 1992, 143: 163-177.
- [11] CAKMAKI, MARSCHNER H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton [J]. Physiol Plant, 1986, 68: 484-490.
- [12] 韩金玲, 李雁鸣, 马春, 等. 施Zn对小麦开花后氮、P、钾、Zn积累和运转的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 313-320.
- [11] 薛辉, 吴孝兵, 晏鹏. 微卫星标记在分子生态学中的应用及其位点的分离策略[J]. 应用生态学报, 2005(16): 385-389.
- [12] EDWARDS K J, BARKER J H, DALY A, et al. Microsatellite libraries enriched for several microsatellite sequences in plants [J]. Biotechniques, 1996, 20: 758-760.
- [13] CARLETON K L, STREELMAN J T, LEE B Y, et al. Rapid isolation of CA microsatellites from the tilapia genome [J]. Animal Genetics, 2002, 33: 140-144.
- [14] GORDON K, KENCHINGTON E L, HAMILTON L C, et al. Atlantic capelin (*Miltus villosus*) tetranucleotide microsatellites [J]. Molec Ecol Notes, 2005, 5: 220-222.
- [15] DEHAAN P W, ARDREN W R. Characterization of 20 highly variable tetranucleotide microsatellite loci for bull trout (*Salvelinus confluentus*) and cross-amplification in other *Salvelinus* species [J]. Molec Ecol Notes, 2005, 5: 582-585.
- [16] SHEN N B, LOWE S, HONG Y, et al. Development and characterization of seven novel dinucleotide and tetranucleotide microsatellite markers in Atlantic herring (*Clupea harengus*) [J]. Molec Ecol Notes, 2005, 5: 469-471.
- [17] 佟广香, 闫学春, 匡友谊, 等. 马氏珠母贝微卫星快速分离及遗传多样性分析[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 170-176.
- [18] 李莉, 孙振兴, 杨树德, 等. 用微卫星标记分析皱纹盘鲍群体的遗传变异[J]. 遗传, 2006, 28(12): 1549-1554.
- [19] 陈微, 张全启, 于海洋, 等. 牙鲆微卫星标记的筛选及群体多态性分析[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 682-687.
- [20] HINES H C, ZIKAKIS J P, HAENLEIN G, et al. Linkage relationships among loci of polymorphisms in blood and milk of cattle [J]. Journal of Dairy Science, 1981, 64(1): 71-76.

(上接第6902页)

- [2] JEFFREYS A J, ROYLE N J, WILSON V, et al. Spontaneous mutation rate to new length alleles at tandemly repetitive hypervariable loci in human DNA [J]. Nature, 1988, 332: 278-287.
- [3] HAMADA H, PEIRANO M G, KAKUNAGA T, et al. A novel repeated element with Z-DNA-forming potential is widely found in evolutionarily diverse eukaryotic genomes [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1982, 79: 6465-6469.
- [4] GOLDSTEIN DAVID B. The use of microsatellite variation to infer population structure and demographic history in a natural model system [J]. Genetics, 1999, 151: 791-801.
- [5] JEFFS P. Multiple sequence alignment with Clustal X [J]. Computer Correr, 1998, 23(1): 78-80.
- [6] STEVE ROZEN, SKALETSKY HELEN J. Primer 3 on the WWW for general users and for biologist programmers [M] // KRAWIEZ S, MSENTER S. Bioinformatics methods and protocols: Methods in molecular biology. Totowa, NJ: Humana Press, 2000: 365-386.
- [7] BOISTHND, WHITE R L, SKOLNICK M, et al. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms [J]. American Journal of Human Genetics, 1980, 32(3): 314-331.
- [8] WEBER J L. Informativeness of human (dC-dA)n(dG-dT)n polymorphisms [J]. Genomics, 1990, 7(3): 524-530.
- [9] WANG Z, WEBER J L, ZHANG G, et al. Survey of plant short tandem DNA repeat [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1994, 88: 1-6.
- [10] 刘萍, 孟宪红, 孔杰, 等. 中国对虾部分基因组文库构建和微卫星DNA序列的筛选[J]. 高技术通讯, 2004(2): 87-90.