

硝态 N 累积与菠菜有机 N 形成及 P、K 吸收的关系

王西娜, 王朝辉, 陈宝明, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:在低 N(0.3 g·kg⁻¹ 土)和高 N(0.6 g·kg⁻¹ 土) 2 个水平下,采用土壤盆栽试验,研究了 30 个菠菜品种硝态 N 累积情况及其与植株生长、有机 N 形成、P、K 吸收的关系。结果表明:施 N 水平低时,30 个菠菜品种的硝态 N 含量与生长量、有机 N 总量和 P、K 吸收量之间均无显著的相关关系;高 N 时,菠菜品种间硝态 N 含量表现出显著的差异,硝态 N 含量最高与最低相差 242 mg·kg⁻¹,与生长量、有机 N 总量和 P、K 吸收量之间亦呈极显著正相关关系。

关键词:菠菜; 硝态 N 量; 生长量; 有机 N; P; K

中图分类号:S131.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)03-0421-05

Nitrate Accumulation in Different Spinach Cultivars and Its Relation to Organic-N, Potassium and Phosphorus in Plant

WANG Xi-na, WANG Zhao-hui, CHEN Bao-ming, LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environmental Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Pot experiment was carried out in greenhouse from October 2000 to March 2001, with 30 spinach cultivars widely grown over northern China as test crops and at two N rates: 0.3 g N·kg⁻¹ soil and 0.6 g N·kg⁻¹ soil, to study the relationship between nitrate accumulation and the content of organic-N, phosphorus (P) and potassium (K) in plant. Compared to the low N rate, the crop yield, and the concentrations of organic N, total P and K were strongly decreased at high N rate, while the nitrate concentration was significantly increased, which implied that over application of N led to imbalanced uptake of P, K and N, inhabitation of nitrate reduction and organic N formation, as well as decrease of the yield. There was no significant relation among nitrate N concentration and fresh weight, total amount of organic-N, and P and K uptake over 30 spinach cultivars in the low N treatment. However, at high N rate, the difference of nitrate N concentration was more obvious among cultivars than that at low N rate, which was as high as 242 mg·kg⁻¹ between the highest and lowest values. Furthermore, nitrate concentration was found positively correlated with fresh weight, total organic-N, and phosphorus and potassium uptake over spinach cultivars. These results showed that the difference in nitrate accumulation among cultivars was affected by N application rates, and P and K played an important role in reduction and accumulation of nitrate and formation of organic N.

Keywords: spinach; nitrate N; biomass; organic-N; phosphorus (P); potassium (K)

菠菜等叶类蔬菜极易累积硝态 N, 其含量可达 3 000 mg·kg⁻¹ [1], 严重威胁人类健康。虽然通过优化施肥和栽培管理措施均能在一定程度上降低蔬菜硝态 N 的累积,但由于环境和经济条件的限制,效果往往难如人愿。近年来,研究蔬菜硝态 N 累积的品种间差异,利用植物自身生物学特性来降低蔬菜硝态 N 含

量越来越受到人们的重视。卢善玲等测定了 8 个雪里蕻品种,发现其硝态 N 含量高低之差达 1 000 mg·kg⁻¹ [2]。段永惠等对蔬菜硝态 N 污染状况的调查显示,19 个不同品种大白菜的硝酸根含量范围为 347.5~3 666.9 mg·kg⁻¹ 鲜重,高低相差达 3 319.4 mg·kg⁻¹;不同品种甘蓝、芹菜、菠菜硝酸根含量高低相差也达 1 000 mg·kg⁻¹ 以上 [3]。一些研究证明,只有施用 N 肥后,菠菜各品种间的硝态 N 含量才存在显著差异 [4]。也一些学者认为,这种差异由遗传基因直接控制 [4-6]。蔬菜不同品种间硝态 N 累积的差异到底如何,是否受施 N 水平影响,值得进一步研究。

收稿日期:2004-10-10

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30230230);国家自然科学基金项目(30370843,40201028,39970429)

作者简介:王西娜(1978—),女,陕西华阴人,西北农林科技大学研究生。

联系人:王朝辉 E-mail:w-zhaohui@263.com

从养分平衡角度看,蔬菜硝态 N 累积与 N、P、K 等营养元素吸收存在着密切关系。Reinink 等的研究表明^[7],不同莴笋的硝态 N 含量与有机 N 含量呈负相关,有机 N 含量高的品种硝态 N 含量低。何天秀等对 50 余种蔬菜的测定发现硝态 N 含量和 K 含量呈负相关,认为蔬菜中 K 含量愈高,对硝态 N 的利用率愈高,硝态 N 累积愈少^[8]。但张春兰等的试验却发现^[9],增加 N 用量,菠菜硝态 N 含量升高,K 含量亦升高。可见蔬菜硝态 N 含量不仅因蔬菜种类、肥料用量而异,同一蔬菜不同品种间硝态 N 的含量也存在明显差异。

本试验旨在通过测定 30 个不同菠菜品种硝态 N 含量、生长量、有机 N 总量和 P、K 吸收量,分析硝态 N 累积与菠菜有机 N 形成及 P、K 吸收的关系。从植物营养生理和营养遗传学角度,揭示硝态 N 累积的原因,为通过遗传和生物工程技术选择和培育低硝态 N 累积的品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 盆栽试验

试验于 2000 年 10 月至 2001 年 3 月在西北农林科技大学农作一站玻璃温室内进行。供试土壤采自大田耕层。土壤 pH 值 7.69,有机质含量 12.8 g·kg⁻¹,全 N 1.0 g·kg⁻¹,NO₃⁻-N 42 mg·kg⁻¹,NH₄⁺-N 11 mg·kg⁻¹,Olsen-P 26 mg·kg⁻¹,速效 K 91 mg·kg⁻¹。

试验选用我国北方普遍种植的 30 个菠菜品种为供试作物,用 S1~S30 表示。在每千克土施 0.13 g P 的基础上设 0.3、0.6 g N·kg⁻¹ 干土 2 个 N 水平,重复 4 次,于 2000 年 10 月 12 日装盆播种。试验用盆为棕红色硬质塑料盆,每盆装干土 4 kg。N 用尿素,P 肥用重过 P 酸钙,在播种时与土壤混匀施入。出苗后,根据生长情况及时疏苗,第三片真叶长出后定苗,每盆均匀留苗 6 株。蔬菜生长期间,根据盆土干湿情况灌水,保持土壤含水量为 20%±2%。

1.2 样品采集与测定

采样于 2001 年 3 月 25 日上午 8:30~9:30 进行,

采样前 2~3 d 灌水一次。采下的植株立即装入塑料袋,标记密封,放入致冷箱,带回实验室。样品按叶片、叶柄、根、茎器官分开,迅速称重。然后分别切碎混匀,并分成两份,装入塑料袋。用于测定硝态 N 的一份样品放入冰箱,在 0℃~4℃ 保存;用于测定植株水分、干重的一份样品,放入烘箱,在 90℃、鼓风条件下烘 30 min,然后降至 65℃ 烘干,称重后,将样品用粉碎机粉碎,用于测定 N、P、K 含量。

蔬菜各器官部位硝态 N 的浸提在采样后次日进行。用研磨浸提法^[10],制成待测液。待测液中的硝态 N 用连续流动分析仪测定。测定有机 N,全 P,全 K 时,先将粉碎好的干样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 不加还原剂法消解^[11],消解液中的 N 用连续流动分析仪测定,P 用钒钼黄比色法测定,K 用火焰光度计法测定。整株蔬菜的养分含量均采用加权平均值法,由茎、叶柄、叶片和根的重量及其对应的养分含量测定值求得。

2 结果与分析

2.1 施用 N 对菠菜的影响

从表 1 可以看出,高 N 水平(0.6 g N·kg⁻¹ 土)下,30 个菠菜品种生物量平均值比低 N 水平(0.3 g N·kg⁻¹ 土)降低了 25.9%;硝态 N、有机 N、P、K 含量均有所提高,其中硝态 N 的变化最为明显,提高 78.2%,而有机 N、P、K 仅分别提高 22.0%、22.1%、15.0%。*t* 检验结果也可进一步证明,不同菠菜品种的生物量,硝态 N、有机 N、全 P 和全 K 在高 N 水平与低 N 水平之间均存在显著差异。说明在硝态 N 供应充足的情况下,作物 P、K 吸收不能与 N 素协调,一方面会使蔬菜对硝态 N 的还原转化受阻,有机 N 形成滞后,硝态 N 大量累积,另一方面也会使作物生长受到抑制,生物量降低。

2.2 硝态 N 累积与不同菠菜品种生物量的关系

Breimer 和 Terman 的研究认为,不同品种硝态 N 含量的差异主要由植株生物量的差异和生长速率的差异造成^[12,13]。本试验中,施 N 0.3 g N·kg⁻¹ 土时,硝态 N 含量最高的品种 S1 与最低的品种 S12 相差 328

表 1 不同 N 水平下 30 个菠菜品种的生物量与硝态 N、有机 N、P、K 含量的平均值

Table 1 The average values of biomass and concentration of nitrate N, organic N, P and K in 30 spinach cultivars under different N treatments					
施氮量/g N · kg ⁻¹ 土	生物量/g · 株 ⁻¹ FW)	NO ₃ ⁻ -N/mg · kg ⁻¹	有机 N/mg · kg ⁻¹	全 P/mg · kg ⁻¹	全 K/mg · kg ⁻¹
0.3	18.0	310	3 768	393	2 526
0.6	13.3**	552**	4 597**	480**	2 905*
变化百分数	-25.9%	78.2%	22.0%	22.1%	15.0%

注: ** 表示同一列内两个平均值差异达 1%显著水平,* 表示达 5%显著水平。

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其生物量相差 $2.3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; 施 $\text{N} 0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土时, 硝态 N 含量最高 S9 与最低 S18 相差达 $593 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其生物量相差 $14.6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。说明 N 素充足时, 品种间生物量和硝态 N 累积差异均明显提高。进一步分析表明, 在低 N 水平时, 不同菠菜品种硝态 N 含量与生物量相关性不显著 ($r = -0.208$); 高 N 水平时相关性达 1% 显著水平 ($r = 0.696$, $r_{0.05, 29} = 0.355$, $r_{0.01, 29} = 0.456$), 见图 1。其原因可能是低 N 水平时, 土壤供 N 不够充足, 蔬菜对硝态 N 的吸收速率较低, 还原速率较高, 植株体内硝态 N 积累少, 限制了品种间硝态 N 累积能力差异的表达^[4], 使不同品种硝态 N 含量与生物量的差异及其相互关系表现不出来; 高 N 水平时, 土壤 N 素供应充足, 蔬菜对硝态 N 的吸收速率大于还原速率, 加上生物量的下降, 使硝态 N 出现富集, 此时, 硝态 N 累积能力强的品种比累积能力弱的品种生物量下降程度低^[4], 对硝态 N 的吸收速率则是前者大于后者, 所以表现出生物量和硝态 N 含量都较高, 因此不同品种间的生长和硝态 N 累积差异明显表现出来。

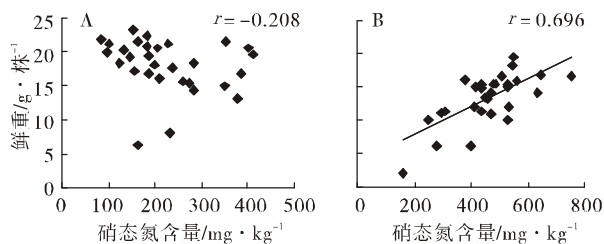


图 1 30 个菠菜品种硝态 N 含量与生物量的关系

(A: 低 N, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土; B: 高 N, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土)

Figure 1 The relationship between nitrate N concentration and biomass of 30 spinach cultivars

(A: Low N rate, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil; B: High N rate, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil)

2.3 硝态 N 累积与不同菠菜品种有机 N 总量的关系

硝态 N 累积的根本原因是蔬菜对硝态 N 的吸收大于还原同化^[14]。从图 2 可以看出, 不同菠菜品种硝态 N 含量与有机 N 总量在低 N 和高 N 时的相关系数分别为 -0.264 、 0.617 , 后者达到 1% 的显著水平。硝态 N 是农作物的主要 N 源, 也是植物合成有机 N 的前体。在高 N 水平下, 品种间的硝态 N 累积差异可以得到充分体现, 最高品种与最低品种相差达 $92 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ (S21 与 S18), 低 N 时仅为 $57 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ (S12 与 S5)。对硝态 N 吸收力强的品种, 可以吸收较多的硝态 N, 并诱导其体内的 N 素同化系统加快对硝态 N

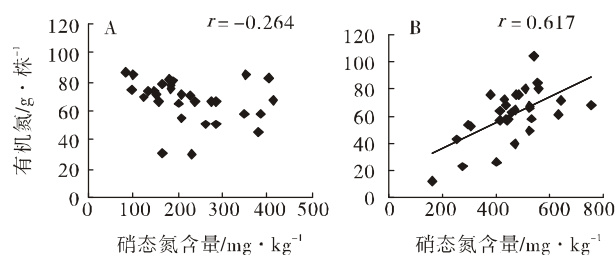


图 2 30 个菠菜品种硝态 N 含量与有机 N 的关系

(A: 低 N, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土; B: 高 N, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土)

Figure 2 The relationship between nitrate N concentration and total amount of organic N in 30 spinach cultivars

(A: Low N rate, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil; B: High N rate, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil)

的还原转化^[15], 使得硝态 N 吸收、还原和同化速率都很高, 从而表现出硝态 N 和有机 N 累积量都较高; 对硝态 N 吸收力弱的品种则表现出体内硝态 N 和有机 N 总量都较低。施 N 量低时, 菠菜品种间硝态 N 含量与有机 N 总量的相关性不显著, 说明由于品种间硝态 N 累积差异不明显, 亦使有机 N 累积无显著差异。

2.4 硝态 N 累积与不同菠菜品种 P 吸收量的关系

由图 3 可以发现, 在 N 用量较高时, 不同菠菜品种的 P 吸收量差异明显, 最高与最低品种 (S21 与 S18) 的 P 吸收差异达到 $12 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$, 且硝态 N 含量与 P 吸收量呈极显著正相关 ($r = 0.464$), 即硝态 N 含量高的品种, P 吸收量也高。这是因为 P 能够促进作物根系发育, 提高根系吸收硝态 N 的能力。在施 N 量较低时, 两者无相关性 ($r = -0.225$), 不同品种间 P 吸收的差异亦较小, 最高与最低品种 (S28 与 S18) 仅相差 $6 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。出现这种现象主要是因为 P 素对作物硝态 N 积累具有双重作用, 既能促进作物根系生长发育, 增强对硝态 N 的吸收, 又能促进体内的硝态 N 向主要还原器官——叶片的转运和还原转化。低 N 水平

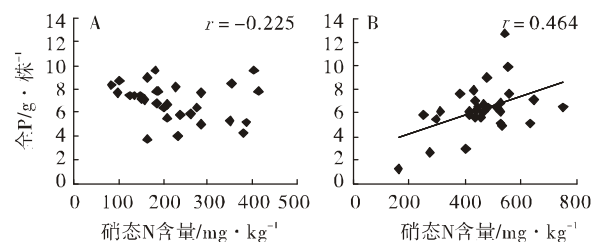


图 3 30 个菠菜品种硝态 N 含量与吸 P 量的关系

(A: 低 N, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土; B: 高 N, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土)

Figure 3 The relationship between nitrate N concentration and phosphorus uptake in 30 spinach cultivars

(A: Low N rate, $0.3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$; B: High N rate, $0.6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil)

下,一方面,N素供应相对不足,充足的P肥供应可使进入蔬菜的硝态N迅速还原,硝态N含量迅速降低;另一方面,N素吸收的减少,也抑制了P的吸收,使不同菠菜品种间的硝态N累积和P吸收差异不明显。高N水平下,土壤N素供应充足,硝态N吸收增加的同时,P的吸收亦提高^[9],是不同品种间累积能力差异的体现。

2.5 硝态N累积与不同菠菜品种K吸收量的关系

施N量低时,K吸收最高与最低(S28与S18)的品种间差异为 $38\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$;施N量高时,最高与最低(S21与S18)的品种间差异为 $61\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$ 。可见,充足供N使品种间K累积差异也得到了充分发挥。在低N水平时,不同菠菜品种的硝态N含量与K吸收量相关性不显著(图4);高N水平时,两者有极显著的正相关关系($r=0.579$)。K离子是硝酸根离子吸收和在植物体运转的伴随离子,植物吸收硝酸根离子必然伴随K离子的进入。同时,K可以促进茎秆维管束发育,参与光合产物向根系运输,促进根的发育,从而提高作物对硝态N的吸收和运转能力,吸K量高的品种,植株体内的硝态N含量也高^[8,15-18]。施N量低时,蔬菜的硝态N吸收受到限制,K的吸收也相应减少,不同品种间硝态N含量和吸K量差异不明显,相关性差。施N量高时,硝态N和K的吸收均增加,不同品种间硝态N和K吸收能力差异得到充分体现,两者相关性也更显著。

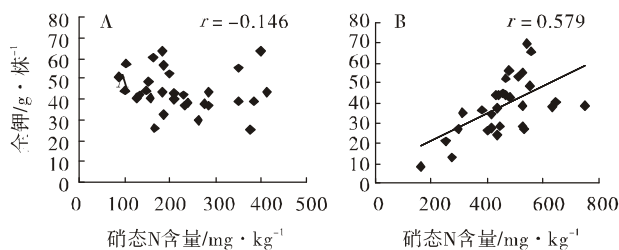


图4 30个菠菜品种硝态N含量与吸K量的关系

(A:低N, $0.3\text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土; B:高N, $0.6\text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土)

Figure 4 The relationship between nitrate concentration and potassium uptake in 30 spinach cultivars

(A: Low N rate, $0.3\text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil; B: High N rate, $0.6\text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)

3 讨论

试验结果表明,N用量是影响蔬菜硝态N含量品种间差异的主要原因:N素供应量较低时,蔬菜吸收的硝态N进入茎叶后会很快被还原,难以出现累

积,不同品种间的硝态N吸收和累积能力的差异体现不出来;N素供应充足时,蔬菜对硝态N的吸收速率大于还原速率,进入植株体的硝态N由于不能被及时还原而累积^[9],吸收能力强的品种,硝态N含量高,吸收能力弱的硝态N含量低,硝态N累积的品种间差异明显显现。这与Cantliffe的研究结果一致^[20]。他发现施N时,所有菠菜品种都不会累积大量的硝态N(小于 0.1%),而施用大量的N后,31个菠菜品种的硝态N含量范围从 0.62 变化到 1.21% 。试验结果还表明,在N施用量充足的情况下,生物量高的品种,其硝态N含量也高。可见,不同品种植株生物量差异也是造成硝态N累积差异的重要原因。这一结论还可从前人的研究结果得到证明,Terman和Allen发现,在不同叶型的菠菜中硝态N含量高的,其生物量也高^[13]。

P、K是影响植物生长的重要元素,硝态N累积不仅与有机N的形成相关,与P、K的吸收量也存在密切关系。在高N水平下,不同菠菜品种硝态N含量与有机N总量和P、K吸收量呈极显著的正相关关系。说明硝态N吸收和累积能力强的菠菜品种,其硝态N还原转化、有机N形成的能力亦强,体内有机N累积量就高;由于P、K在硝态N吸收、运转和还原同化过程中具有的特殊作用,使得硝态N吸收和累积能力强的菠菜品种P、K的吸收与累积量也相应增加,硝态N与PK的吸收表现出一致的关系。

蔬菜对N、P、K营养需求的平衡和一致性表明,选育低硝态N累积的蔬菜品种,不仅要考虑作物对硝态N的吸收与还原特性,还应注意其对P、K吸收能力的强弱;在蔬菜生产实践中,要针对不同蔬菜品种的养分需求特点,平衡和优化N、P、K肥料的供应,以达到在提高蔬菜产量的同时,改善蔬菜的营养品质。

参考文献:

- [1] 陈新平,邹春琴,刘亚萍,等.菠菜不同品种累积硝态N能力的差异及其原因[J].植物营养与肥料学报,2000,6(1):30-34.
- [2] 卢善玲,周根娣,汪雅各.上海蔬菜硝态N残留状况及其控制途径[J].上海农业学报,1990,6(4):59-66.
- [3] 段永慧,张乃明,张守萍.太原市蔬菜硝态N污染状况及其制途径影响因素[J].农业环境保护,1998,17(3):126-128.
- [4] 张福锁.环境胁迫与植物营养[M].北京:北京农业大学出版社,1993. 209-294.
- [5] 张福锁.植物营养生态生理学与遗传学[M].北京:中国科学技术出版社,1993.36-76.
- [6] Quaggiotti S, Ruperti B, Borsa P, et al. Expression of a putative

high-affinity NO_3^- transporter and of an H^+ -ATPase in relation to whole plant nitrate transport physiology in two maize genotypes differently responsive to low nitrogen availability [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54(384): 1023–1031.

- [7] REININK K. Genotype $\times$ Environment Interaction for Nitrate Concentration in Lettuce [J]. *Plant Breeding*, 1991, 107: 39–49.
- [8] 何天秀, 何成辉, 吴德意. 蔬菜中硝态氮含量及其与钾含量的关系[J]. 农业环境保护, 1992, 11(5): 209–211.
- [9] 高祖明, 张耀栋. N 磷 K 对叶菜硝态 N 积累和硝酸还原酶、过氧化物酶活性的影响[J]. 园艺学报, 1989, 16(4): 293–298.
- [10] Ysart G, Clifford R, HarHarrison N. Monitoring for nitrate in UK-grown lettuce and spinach [J]. *Food Add Con*, 1999, 16(7): 301–306.
- [11] 南京农业大学主编. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1998. 214–215.
- [12] Bremer T. Environmental factors affecting nitrate accumulation in spinach[J]. *Fertilizer Research*, 1982, 3(3): 191–292.
- [13] Terman G L, Allen S E. Crop yield—nitrate-N, total N and total K relationships: Leafy vegetables[J]. *Soil Science and Plant Analysis*,

1978, 9(9): 813–825.

- [14] 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 不同氮用量对蔬菜硝态 N 累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 22–28.
- [15] 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 磷肥影响蔬菜硝态 N 累积的机理[A]. 谢建昌, 陈际型主编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥[C]. 南京: 河海大学出版社, 1997. 217–222.
- [16] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀, 魏永胜. 蔬菜的硝态 N 累积及其营养调控[A]. 李晓林, 张福锁, 米国华主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[C]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 115–128.
- [17] 陈慧选, 韩雪梅, 吴树彪. 磷钾营养平衡对青菜解剖结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(4): 343–345.
- [18] 史庆华, 徐敏. 钾对提高蔬菜产量和品质的作用[J]. 西北园艺, 2002, (1): 35.
- [19] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 叶类蔬菜的硝态氮累积及成因分析[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1136–1141.
- [20] Cantliffe J. Nitrate accumulation in spinach cultivars and plant productions [J]. *Plant Science*, 1973, 53: 365–367.