

图1 白菜在低浓度 KNO<sub>3</sub> 溶液中吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的速率

Fig. 1 Absorption rate of nitrate by pak-choi in relation to nitrate concentration

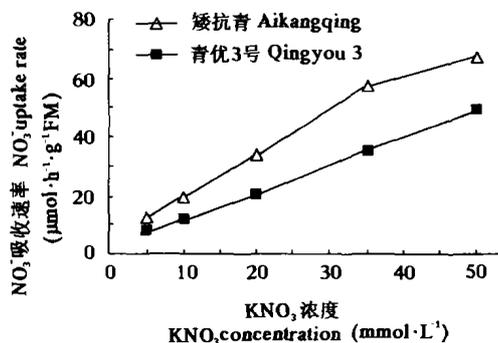


图2 白菜在高浓度 KNO<sub>3</sub> 溶液中吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的速率

Fig. 2 Absorption rate of nitrate by pak-choi in relation to nitrate concentration

由表 1 可见，在低浓度的 KNO<sub>3</sub> 溶液 (0.2 ~ 2.0 mmol·L<sup>-1</sup>) 中，矮抗青的 K<sub>m</sub> 值与 V<sub>max</sub> 均最高，表明其与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的亲合力虽小，但具有速度优势，可以通过加大吸收速度来获得 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的充分供给，所以在高浓度硝酸盐介质中，其硝酸盐积累很高。青优 3 号的 K<sub>m</sub> 仅是矮抗青的 1/4，其与硝酸根的亲合力较高，但是其 V<sub>max</sub> 也仅是矮抗青的 1/4，因此其与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的亲合力虽较大，但吸收速度却较慢。在高浓度 KNO<sub>3</sub> 溶液 (5 ~ 50 mmol·L<sup>-1</sup>) 中，矮抗青的 K<sub>m</sub> 值小于青优 3 号，即与硝酸根的亲合力大于青优 3 号，而 V<sub>max</sub> 又大于青优 3 号，因此矮抗青吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的效率高于青优 3 号，由此表明在其它条件一致的情况下，在高 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度介质中，矮抗青具有更高的吸收硝酸盐的能力，这与其高积累硝酸盐能力一致 (表 2)。

表 1 白菜吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的动力学参数

Table 1 Differences in kinetics parameters of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake by pak-choi

KNO <sub>3</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	品种 Cultivars	K <sub>m</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	V <sub>max</sub> (μmol·h <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> FM)
0.05 ~ 2.0	青优 3 号 Qingyou 3	1.8319 b	4.0225 b
	寒优 1 号 Hanyou 1	0.4014 a	2.3750 a
	杨青 1 号 Yangqing 1	0.5955 a	3.4664 b
	矮抗青 Aikangqing	7.1499 c	17.0755 c
5 ~ 50	青优 3 号 Qingyou 3	118.44 a	167.22 a
	矮抗青 Aikangqing	100.49 a	221.78 b

表 2 白菜叶片硝酸还原酶活性 (NRA) 和硝酸还原代谢库内硝酸盐含量 (MPS)

Table 2 NRA and MPS of pak-choi

品种 Cultivars	NRA (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> nmol·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> FM)		硝酸盐 Nitrate (μmol·g <sup>-1</sup> FM)		
	- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	总量 Total	MPS	MPS/Total (%)
	青优 3 号 Qingyou 3	102.3 d	270.7 a	51.28 a	7.297 a
杨青 1 号 Yangqing 1	249.4 c	443.7 b	96.71 c	10.925 b	11.26 b
寒优 1 号 Hanyou 1	95.7 b	233.3 a	65.67 b	6.339 a	9.65 b
矮抗青 Aikangqing	52.3 a	226.9 a	91.98 c	7.410 a	7.66 a

## 2.2 白菜幼苗吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的时间进程

从图 3 可以看出，不论在 0.5 还是 5 mmol·L<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> 溶液中，青优 3 号对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的吸收量总是最小。在低浓度溶液中，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收量寒优 1 号最大，其次是矮抗青和杨青 1 号；矮抗青在 0.5 ~ 1.5 h 吸收量增加迅速，1.5 h 后吸收量增加缓慢 (图 3, A)，原因可能是矮抗青与硝酸根的亲合力小 (K<sub>m</sub> 大)，寒优 1 号与硝酸根的亲合力最大。在 5 mmol·L<sup>-1</sup> 高浓度硝酸钾溶液中，开始在 0.5 ~ 1.0 h 时，矮抗青的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收量大于杨青 1 号等，在 1.0 h 之后，其吸收量增加缓慢，而杨青 1 号的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收量反而迅速超过矮抗青；至 1.5 h 时，杨青 1 号的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收量增加更迅速。在 0.5 h 时，寒优 1 号与青优 3 号的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收量几乎相等，随后寒优 1 号迅速增加，吸收量超过青优 3 号 (图 3, B)。造成上述现象的原因可能是由于杨青 1 号和寒优 1 号具有较低的 K<sub>m</sub> 值，对硝酸根的亲合力大，具有更多的吸收点位，在高浓度硝酸钾溶液中可以更有效地吸收硝酸根；而矮抗青的 K<sub>m</sub> 值较大，与硝酸根亲合力小，在高浓度的硝

酸钾溶液中经过一段时间的吸收后,其吸收位点渐被硝酸根所饱和,吸收量渐小。

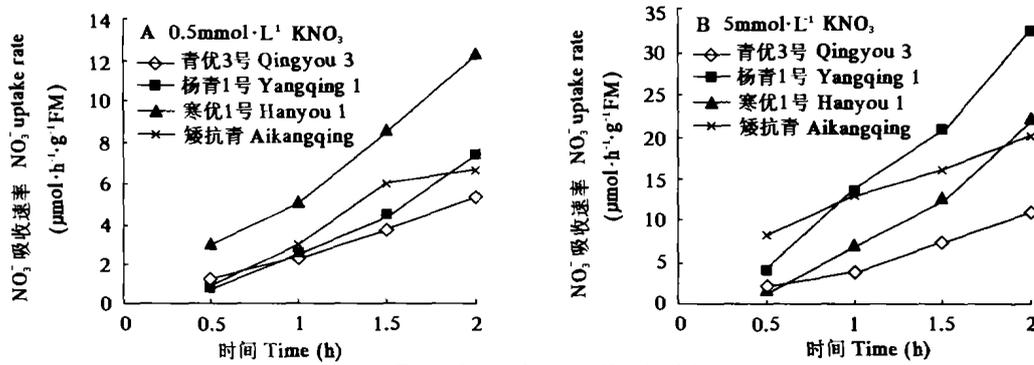


图3 白菜吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的时间进程

Fig. 3 Time course of nitrate uptake by pak-choi

### 2.3 白菜品种硝酸还原酶活性 (NRA) 与硝酸还原代谢库内硝酸根含量 (MPS) 的差异

由表2可见,杨青1号在供试的4个品种中,其NRA最高,MPS最高,但其叶片NO<sub>3</sub><sup>-</sup>总含量也最高,硝酸盐积累最多;矮抗青却是NRA最低,硝酸还原代谢库内的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>占其NO<sub>3</sub><sup>-</sup>总含量的比例最低,硝酸盐积累也多;青优3号NRA仅是杨青1号的1/2,但MPS/Total却最高,其硝酸盐含量最低。寒优1号与青优3号NRA、MPS、总硝酸盐含量相近,但MPS/Total差异显著。另外,在反应介质中无NO<sub>3</sub><sup>-</sup>时,矮抗青的NRA显著低于其它品种,而在加入NO<sub>3</sub><sup>-</sup>后NRA升高到与青优3号、寒优1号相近水平。这也与上面低浓度NO<sub>3</sub><sup>-</sup>溶液中矮抗青的低K<sub>m</sub>值相吻合。

由此可见,品种间叶片NRA的差异可归因于硝酸还原代谢库内NO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量的不同;MPS大的品种,NRA高。但一个品种的NRA高并不代表它的硝酸盐积累少,只能表明其同化能力强,合成的含氮有机物质多,但可能由于其吸收能力强,吸收的硝酸根离子多于其他品种而致使硝酸盐积累多于其他品种。根据研究,只有代谢库内的硝酸根(MPS)才可被利用,因此MPS对硝酸盐的被利用程度有决定性作用。本试验中,MPS高的品种,其NRA高,但硝酸盐积累并不少,由此认为一个品种的NRA强,MPS高,可能使其对硝酸盐的利用程度增加,并不能代表它的硝酸盐积累的量少,而MPS/Total与品种硝酸盐积累却有一些联系。

由本试验推论,造成白菜品种间硝酸盐积累差异的更主要的直接的原因是品种间吸收硝酸根的速率不同,同时也可能MPS/Total值联合对其硝酸盐积累起决定作用,此种关系有待于进一步实验验证。

#### 参考文献:

- 1 陈薇,张德颐.植物组织中NR的提取、测定和纯化.植物生理学通讯,1980,(4):45~49
- 2 许长嵩,倪晋山.小麦叶内硝酸还原的代谢库.植物生理学报,1990,16(3):277~283

## The Nitrate Uptake and Accumulation of Pak-choi

Dong Xiaoying<sup>1,2</sup>, Li Shijun<sup>2</sup>, and Shen Renfang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; <sup>2</sup> College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Four pak-choi cultivars with different nitrate accumulation level were applied for explaining their genotypic variation in nitrate accumulation. Their dynamics parameters in nitrate uptaking, Michaelis constant (K<sub>m</sub>), the maximum uptake Velocity (V<sub>max</sub>), nitrate content in nitrate metabolic pool (MPS) and nitrate reductase activity (NRA), were measured, results showed that K<sub>m</sub> and V<sub>max</sub>, MPS, NRA varied greatly in different pak-choi cultivars. But there was no relationship between nitrate content and NRA, MPS. Their variation in nitrate accumulation more resulted from their different uptake rate of nitrate than their NRA, MPS.

**Key words:** Pak-choi; Nitrate accumulation; Absorption