

不同肥料组合对莴笋产量和品质的影响*

狄彩霞¹ 李会合¹ 王正银¹ 李平¹ 黎小清¹ 李清荣¹ 向华辉² 刘星²

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆北碚 400716)

(2 重庆市九龙坡区农林水利局, 重庆石坪桥 400051)

摘要 采用田间小区试验研究了不同肥料组合对莴笋产量、品质和叶片养分形态的影响。结果表明, 在施入等量氮肥的基础上, 磷、钾、中量及微量元素和有机肥料平衡施用使莴笋极显著增产(135.8%~177.0%), 其增产序列依次为 $NP_1K_2MgZnB > NP_2K_2 > NP_1K_2RM > NP_1K_2PP > NP_1K_2Mg > NP_1K_2 > NP_2K_1$ 。不同肥料组合可降低莴笋叶片硝酸盐含量, 以 NP_1K_2MgZnB 处理降低量最大, 降低最少者为 NP_2K_2 处理; 茎中硝酸盐含量以 NP_1K_2RM 处理降低量最大, NP_2K_1 处理降低最小。肥料组合各处理对莴笋营养品质 V_c 和氨基酸以提高作用为主, 以 NP_1K_2MgZnB 处理对莴笋产量和品质的效应最好。莴笋叶片养分形态中, 氮素以蛋白氮为主, 磷素和钾素分别以非蛋白磷和非蛋白钾为主。不同肥料组合对莴笋叶片氮和磷素形态的效应不一致, 对 3 种磷形态均有提高作用。各养分形态中, 氮素仅非蛋白氮与茎硝酸盐呈显著负相关, 与茎 V_c 呈显著正相关, 与叶氨基酸呈极显著正相关; 磷素以非蛋白磷与叶 V_c 、茎氨基酸呈显著负相关; 钾素的非蛋白钾和全钾与叶硝酸盐呈显著负相关, 与茎硝酸盐为极显著负相关, 与叶 V_c 、茎 V_c 呈显著正相关, 与茎氨基酸呈极显著正相关, 蛋白钾与茎硝酸盐呈极显著负相关, 与叶 V_c 、茎 V_c 、茎氨基酸呈显著正相关, 与叶氨基酸呈极显著正相关。

关键词 肥料组合; 莴笋; 产量; 品质; 养分形态

中图分类号 S636.206 文献标识码 A

蔬菜是我国人民营养的主要来源, 因而对其产量和质量都十分关注, 它提供人体必需的维生素、矿物质和蛋白质、氨基酸、糖份等多种有机营养物质^[1,2]。莴笋(*Lactuca sativa* L.) 是我国南方地区广泛栽培和食用的叶类蔬菜之一。在大田生产中莴笋产量和品质的提高与施肥的关系非常密切。但目前蔬菜生产中普遍存在盲目地大量施用化肥和单一施用化学氮肥、养分比例失调、有机肥料用量下降等现象, 导致肥料效益下降、菜园土壤理化性质不良、养分缺乏和不平衡, 从而胁迫蔬菜生长、降低其产量和品质, 引起硝酸盐累积、重金属含量超标以及一系列的生态和环境问题^[3]。业已证明, 蔬菜营养平衡包括大量元素平衡、大量元素与中量及微量元素平衡、有机无机营养间的平衡等是保证蔬菜优质高产的一项重要技术措施, 然而有关平衡施肥特别是中量及微量元素和有机肥料对蔬菜产量品质的研究报道较少^[4,5]。养分供应不均衡成为提高蔬菜产量、改善

品质的限制因子。本试验研究了在相同氮素水平下配施磷、钾、中量及微量元素和有机肥料对莴笋产量、品质和养分形态的影响, 以期获得高产、优质叶菜类蔬菜生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

土壤为红棕紫泥, 质地重壤, pH 值 7.8, 有机质 14.37 g kg^{-1} , 碱解氮 151.1 mg kg^{-1} , 有效磷 5.0 mg kg^{-1} , 有效钾 100.0 mg kg^{-1} , 有效镁 118.8 mg kg^{-1} , 有效锌 0.92 mg kg^{-1} , 有效硼 0.44 mg kg^{-1} 。莴笋品种为科兴 3 号, 由绵阳种子分公司生产。供试肥料为尿素(N 46%), 过磷酸钙(P_2O_5 12%), KCl(K_2O 60%), $MgSO_4$ (Mg 9.7%), $ZnSO_4$ (Zn 23%) 和 H_3BO_4 (B 17%)。有机肥料籽粕(全 N 5.243%, 全 P 1.120%, 全 K 1.434%) 和泥炭(全 N 1.463%, 全 P 0.316%, 全 K 0.245%)。

* 加拿大 PPI/PPIC 项目(Chongqing-02 和 Sichuan-200101) 资助

- 通讯作者

作者简介: 狄彩霞(1977~), 女, 内蒙呼伦贝尔人, 植物营养学硕士研究生, 从事植物营养资源利用研究。E-mail: 200216922@sina.com

收稿日期: 2004-07-16; 收到修改稿日期: 2004-12-13

1.2 试验方法

试验在重庆市九龙坡区白市驿镇高田坎村二组进行, 在施用氮 225 kg hm^{-2} 的基础上, 共设 8 个处理, 4 次重复, 随机排列。各处理及代码详见表 1。小区面积 $8.1 \text{ m}^2 (2.7 \text{ m} \times 3 \text{ m})$, 每小区栽植莴笋 64 株, 行距 0.4 m , 穴距 0.35 m 。磷肥(过磷酸钙)和钾

肥(氯化钾)、有机肥作基肥一次施入, 氮肥(尿素)、 MgSO_4 、 ZnSO_4 在移栽后分 3 次按 20%、40%、40% 施入。2003 年 4 月 5 日移栽, 5 月 19 日取样测定莴笋叶、茎的硝酸盐、氨基酸、Vc 含量和叶片养分形态, 5 月 28 日全部收获测定产量。

表 1 试验处理和施肥量

Table 1 Treatments and fertilization rates in the experiment

处理代号 Treatment code	N (kg hm^{-2})	P_2O_5 (kg hm^{-2})	K_2O (kg hm^{-2})	Mg (kg hm^{-2})	Zn (kg hm^{-2})	B (kg hm^{-2})	菜籽粕 Rape cake (kg hm^{-2})	泥炭 Peat (kg hm^{-2})
CK(N)	225	0	0					
NP_1K_2	225	75	150					
NP_2K_2	225	150	150					
NP_2K_1	225	150	75					
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{Mg}$	225	75	150	15 00				
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{MgZnB}$	225	75	150	15 00	3.0	0.75		
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{RM}$	225	75	150				1500	
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{PP}$	225	75	150					3000

1.3 测试方法

土壤碱解氮采用碱解扩散法, 有效磷采用 NaHCO_3 法, 有效钾采用 NH_4OAc 浸提—火焰光度法测定。莴笋叶、茎品质分析中, 硝酸盐采用酚二磺酸显色—分光光度法, Vc 用 2,6-二氯靛酚滴定法, 氨基酸用茚三酮显色—分光光度法测定^[6]。莴笋叶片的蛋白氮和非蛋白氮用三氯乙酸沉淀样品中的蛋白质、过滤, 使两者分离, 分别用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ 消化, 再

用蒸馏法、钒钼酸显色—722 分光光度法^[7]测定。

1.4 统计分析

产量采用新复极差法(SSR 检验法)进行统计分析^[8]。

2 结果与讨论

2.1 平衡施肥对莴笋产量的影响

莴笋产量统计分析结果(表2)表明, 不同肥料

表 2 不同处理的莴笋产量

Table 2 Yield of lettuce in different treatments

处理代号 Treatment code	产量 Yield $\bar{x} \pm S$ (kg hm^{-2})	差异显著性 Significance		增产率 Yield increase (%)
		$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	
CK(N)	10356 ± 75	c	C	100
NP_1K_2	24723 ± 198	b	B	238.7
NP_2K_2	26579 ± 143	b	AB	256.9
NP_2K_1	24423 ± 182	b	B	235.8
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{Mg}$	25007 ± 181	b	B	241.5
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{MgZnB}$	28689 ± 33	a	A	277.0
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{RM}$	25725 ± 124	b	B	248.4
$\text{NP}_1\text{K}_2\text{PP}$	25635 ± 199	b	B	247.6

组合增产达 135.8%~177.0%，与对照相比，施肥处理增产极显著，NP₁K₂MgZnB、NP₂K₂ 处理间差别不大，其余处理对莴笋增产作用相当。NP₂K₂ 和 NP₁K₂ 处理相比较，在相同氮、钾基础上，增施磷肥使莴笋产量提高了 18.2%；而 NP₂K₂ 和 NP₂K₁ 处理相比较，在相同氮磷基础上，NP₂K₂ 增施钾肥可使莴笋增产 21.1%。表明在有效磷缺乏、有效钾含量不高的供试土壤上种植莴笋，重视磷肥和钾肥的平衡施用对于提高蔬菜产量具有决定性的作用。在 NP₁K₂ 处理基础上配施 Mg 和 MgZnB 肥及菜籽粕、泥炭均能提高莴笋产量，并以增施 MgZnB 者 (NP₁K₂MgZnB 处理) 增产最大，表明供试土壤有效镁、有效锌、有效硼养分缺乏，使莴笋产量受影响，在增施钾肥时配合 MgZnB 肥是提高莴笋产量的一项重要农业措施。

2.2 平衡施肥对莴笋叶和茎硝酸盐含量的影响

2.2.1 叶硝酸盐含量 蔬菜尤其是叶类蔬菜是

一类高积累硝酸盐的植物，陈巍等报道指出，人体摄入的硝酸盐中 81.2% 来自蔬菜^[9]。采用平衡施肥、分次追肥可在一定程度上降低硝酸盐含量，但却无法从根本上解决问题^[10,11]。由表 3 可知，各处理莴笋叶片硝酸盐含量均较低，且较 CK 有不同程度降低，均达极显著，降低幅度为 10.4%~29.2%，其降低次序为 NP₁K₂MgZnB > NP₁K₂RM > NP₁K₂PP = NP₁K₂Mg > NP₂K₁ > NP₁K₂ > NP₂K₂。在 NP₁K₂ 基础上进行 NP₁K₂Mg、NP₁K₂MgZnB、NP₁K₂RM、NP₁K₂PP 处理，其间差异显著性不明显，且 4 个处理与只施低磷高钾处理差异显著性明显，表明在供试土壤大部分养分(氮除外)有效性低的情况下，在低磷高钾基础上增施 Mg、Zn、B 等中量及微量元素肥料和菜籽粕、泥炭可促进硝酸盐转化为氨基酸和蛋白质，减少硝酸盐的累积^[12]。

表 3 不同处理莴笋叶和茎硝酸盐含量

Table 3 Nitrate contents in lettuce stem and leaf in different treatments

处理代号 Treatment code	叶 Leaf		差异显著性 Significance		茎 Stem		差异显著性 Significance	
	硝酸盐含量	增加	<i>P</i> _{0.05}	<i>P</i> _{0.01}	硝酸盐含量	增加	<i>P</i> _{0.05}	<i>P</i> _{0.01}
	Nitrate content	Increased			Nitrate content	Increased		
	$\bar{x} \pm S$	(%)			$\bar{x} \pm S$	(%)		
	(mg kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)				
CK(N)	638±26	100	a	A	1210±46	100	a	A
NP ₁ K ₂	538±8	84.5	b	BC	1162±25	96.0	abc	A
NP ₂ K ₂	572±13	89.6	b	B	1140±40	94.2	abcd	A
NP ₂ K ₁	492±16	77.0	cd	CD	1188±12	98.2	ab	A
NP ₁ K ₂ Mg	489±10	76.6	cd	CD	1026±78	84.8	bcd	A
NP ₁ K ₂ MgZnB	452±4	70.8	d	D	1015±52	83.8	cd	A
NP ₁ K ₂ RM	484±12	75.9	cd	CD	974.0±24.1	80.5	d	A
NP ₁ K ₂ PP	489±17	76.6	cd	CD	977.6±41.9	80.8	d	A

2.2.2 茎硝酸盐含量 莴笋茎硝酸盐含量均高于叶片，各肥料组合较 CK 降低茎硝酸盐 1.8%~19.5%。以 NP₁K₂Mg、NP₁K₂MgZnB、NP₁K₂RM、NP₁K₂PP 降低作用大(表 3)，与对照差异显著；该 4 个处理对茎硝酸盐的降低作用与叶片相同。表明供试土壤在中量及微量营养元素缺乏情况下适量配施镁、锌、硼、菜籽粕、泥炭，均可以很好地改善莴笋的卫生品质，提高其食用安全性。

2.3 平衡施肥对莴笋叶和茎营养品质的影响

2.3.1 地上部植株维生素 C 维生素 C 与可溶性糖含量是衡量蔬菜营养品质的重要指标^[13]。由表 4

可以看出，莴笋叶片 Vc 含量均高于茎，在茎叶中肥料组合各处理均较 CK 提高 Vc 含量。莴笋叶片 Vc 含量提高 7.9%~26.1%，以 NP₁K₂MgZnB 处理增加幅度最大；其次为施菜籽粕的 NP₁K₂RM 和施用泥炭的 NP₁K₂PP 处理，均与对照达极显著差异。显然，供试土壤养分的不平衡直接影响到叶菜 Vc 含量提高，在施用氮磷钾肥基础上配施中量及微量元素或有机肥可明显增加莴笋叶片 Vc 含量^[14]。本研究结果，各处理与对照相比莴笋茎 Vc 含量提高 0.9%~22.9%，增加幅度最大为 NP₁K₂RM 处理，其次是 NP₁K₂PP 处理，均与对照达极显著差异。微量元素、

菜籽粕、泥炭对莴笋茎和叶 Vc 含量的影响表现出 一致性。

表 4 不同处理莴笋叶和茎 Vc 含量

Table 4 Vc contents in lettuce leaf and stem in different treatments

处理代号 Treatment code	叶 Leaf		差异显著性 Significance		茎 Stem		差异显著性 Significance	
	Vc 含量 Vc content	增加 Increased	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	Vc 含量 Vc content	增加 Increased	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$
	$\bar{x} \pm S$ (mg kg^{-1})	(%)			$\bar{x} \pm S$ (mg kg^{-1})	(%)		
CK(N)	183 ± 6	100	d	C	53 ± 3	100	b	D
NP ₁ K ₂	197 ± 2	107.9	cd	BC	54 ± 3	100.9	b	CD
NP ₂ K ₂	202 ± 14	110.7	bc	BC	55 ± 3	104.1	b	BCD
NP ₂ K ₁	204 ± 7	111.5	bc	BC	62 ± 2	115.6	a	ABCD
NP ₁ K ₂ Mg	205 ± 14	112.3	bc	ABC	62 ± 3	117.1	a	ABC
NP ₁ K ₂ MgZnB	230 ± 4	126.1	a	A	63 ± 3	117.7	a	ABC
NP ₁ K ₂ RM	217 ± 14	118.8	ab	AB	65 ± 5	122.9	a	A
NP ₁ K ₂ PP	215 ± 12	117.6	abc	AB	64 ± 5	120.9	a	AB

2.3.2 地上部植株氨基酸 由表5可看出, 施用等量氮肥基础上配施磷钾肥和中量及微量元素处理的莴笋叶和茎氨基酸含量较单施氮肥提高 2.2%~26.2% 和 0.6%~10.0%, 叶氨基酸以 NP₁K₂PP 和 NP₁K₂RM 处理明显高于其他处理, 且二者作用相

当, 与对照相比达显著差异; 茎氨基酸含量以 NP₁K₂Mg 处理和 NP₁K₂MgZnB 处理较其他处理提高大, 且提高作用相当。配施中量及微量元素、菜籽粕、泥炭处理对茎、叶氨基酸含量的提高作用大, 表现出不同肥料组合改善蔬菜营养品质的重要性。

表 5 不同处理莴笋叶和茎氨基酸含量

Table 5 Contents of Amino acid in lettuce leaf and stem in different treatments

处理 Treatment	叶 Leaf		差异显著性 Significance		茎 Stem		差异显著性 Significance	
	氨基酸含量 Amino acid content	增加 Increased	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	氨基酸含量 Amino acid content	增加 Increased	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$
	$\bar{x} \pm S$ (mg kg^{-1})	(%)			$\bar{x} \pm S$ (mg kg^{-1})	(%)		
CK(N)	261 ± 27	100	b	C	268 ± 52	100	a	A
NP ₁ K ₂	268 ± 21	102.2	b	BC	270 ± 35	100.6	a	A
NP ₂ K ₂	272 ± 1	103.8	b	BC	277 ± 31	103.1	a	A
NP ₂ K ₁	269 ± 9	102.7	b	BC	272 ± 29	101.3	a	A
NP ₁ K ₂ Mg	273 ± 2	104.3	b	BC	295 ± 58	110.0	a	A
NP ₁ K ₂ MgZnB	295 ± 42	112.6	ab	ABC	293 ± 8	109.3	a	A
NP ₁ K ₂ RM	322 ± 14	123.0	a	AB	283 ± 24	105.6	a	A
NP ₁ K ₂ PP	330 ± 18	126.2	a	A	287 ± 8	106.8	a	A

2.4 平衡施肥对莴笋养分形态的影响

2.4.1 氮素形态 植物体内的氮化合物可分为

蛋白氮和非蛋白氮, 两者的含量与占全氮的比例常随着植物的生理状况及环境条件而变化, 反映出植

物对氮素的吸收、运输与利用。除 NP₁K₂MgZnB 处理外(表 6), 莴笋叶片蛋白氮含量较 CK 均表现为降低, 并以 NP₂K₂ 处理降低量最大; 各处理非蛋白氮含量均表现为增加且作用相当, NP₁K₂RM 处理增加最多并与对照达显著差异, NP₁K₂PP 处理其次, 这与氮肥的施用后提高了非蛋白氮在不同器官间流动和再

利用有关; 蛋白氮、非蛋白氮占全氮比例差异不明显, 说明植物体内的非蛋白氮和蛋白态氮处在不断改变和相互转化。NP₁K₂MgZnB 和 NP₁K₂RM 处理全氮较对照略有提高, 这表明有机肥料菜籽粕、泥炭有利于莴笋叶片全氮及非蛋白氮的提高。

2.4.2 磷素形态 磷素是植物体内重要化合物

表 6 莴笋叶片氮素养分形态测定结果

Table 6 Determination of forms of N nutrient in lettuce leaf

处理代号 Treatment code	全氮 Total N		蛋白氮 Protein N		非蛋白氮 Non-protein N		蛋白氮/全氮 Non-protein N/total N	非蛋白氮/全氮 Non-protein N/total N
	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	(%)	(%)
	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)		
CK(N)	17.1 ± 1.2a	100	9.2 ± 0.7a	100	7.9 ± 0.5b	100	53.8	46.2
NP ₁ K ₂	16.4 ± 0.6a	95.9	8.4 ± 0.4ab	91.3	8.0 ± 2.5ab	101.8	51.2	48.8
NP ₂ K ₂	15.6 ± 1.4a	91.2	7.5 ± 0.4b	81.5	8.1 ± 1.0ab	102.5	48.1	51.9
NP ₂ K ₁	16.4 ± 2.0a	95.9	8.1 ± 0.4ab	88.0	8.3 ± 1.6ab	105.1	49.4	50.6
NP ₁ K ₂ Mg	16.2 ± 1.3a	94.7	8.2 ± 0.9ab	89.1	8.0 ± 0.4ab	101.3	50.6	49.4
NP ₁ K ₂ MgZnB	17.6 ± 0.6a	102.9	9.2 ± 0.5a	100	8.4 ± 0.1ab	106.3	52.3	47.7
NP ₁ K ₂ RM	17.5 ± 2.1a	102.3	7.7 ± 0.9b	83.7	9.8 ± 1.2a	124.1	44.0	56.0
NP ₁ K ₂ PP	17.1 ± 1.4a	100.0	8.0 ± 0.2ab	87.0	9.1 ± 1.2ab	115.2	46.8	53.2

的组成元素之一, 如构成蛋白质、核酸、磷脂等, 磷含量增加则意味着蔬菜营养品质提高。由表 7 可知, 莴笋叶片的磷素形态以非蛋白磷为主, 非蛋白磷占全磷的 50.0% ~ 64.9%, 蛋白磷占全磷的 35.1% ~ 50.0%。不同处理莴笋蛋白磷幅度变化较大, NP₁K₂、NP₁K₂Mg 和 NP₁K₂PP 处理蛋白磷较对照增加量大且达显著。除 NP₂K₁ 处理非蛋白磷含量增加 5.7% 外, 其余处理均表现为降低, 但各处理间降低作用不明显, 本实验表明磷素形态之间的相互转化的可变性不同于氮素形态且受施肥 (NP₁K₂、NP₁K₂Mg、NP₁K₂PP、NP₂K₁ 4 个处理) 影响明显。NP₁K₂MgZnB 处理的全磷及蛋白磷、非蛋白磷均降低, NP₁K₂PP 处理全磷和蛋白磷含量变化相同。莴笋叶片全磷含量除 NP₁K₂、NP₁K₂Mg、NP₁K₂PP 处理表现为提高作用外, 其余施肥处理降低叶片含磷量, 降低幅度最大为 NP₁K₂MgZnB 处理。

2.4.3 钾素形态 钾素是叶菜类蔬菜吸收最多的元素, 有助于提高叶菜的产量和降低硝酸盐的含量, 提高叶菜品质。非蛋白钾是全钾的主要组分, 也是莴笋植株中钾的主要形态。表 8 表明, 非蛋白钾占全钾的 93.2% ~ 99.1%, 蛋白钾仅占全钾的

0.9% ~ 6.8%, 因为植物叶片中的钾大多数以离子态存在, 难以形成有机化合物, 特别是难以与蛋白质结合。平衡施肥处理使莴笋叶片蛋白钾含量提高 2.9% ~ 24.3%, 非蛋白钾含量提高 1.9% ~ 33.3%, 全钾含量提高为 1.8% ~ 33.9%, 以 NP₁K₂Mg、NP₁K₂MgZnB、NP₁K₂RM 和 NP₁K₂PP 4 个处理的蛋白钾和非蛋白钾、全钾含量均高于其他处理且均与对照达显著差异, 表明增施中量和微量元素、有机肥料有利于蛋白钾、非蛋白钾、全钾的提高以改善叶菜品质。

2.5 莴笋硝酸盐与营养品质的关系

优质蔬菜的品质一般包括营养品质、卫生品质和商品品质, 它们不仅是综合评价蔬菜品质的重要依据, 而且也是蔬菜商品价值的重要体现。蔬菜的硝酸盐属于卫生品质范畴, Vc 和氨基酸属于蔬菜的营养品质。研究表明, Vc 可以阻止硝酸盐还原为亚硝酸盐并抑制胺与亚硝酸盐的结合, 蔬菜中硝酸盐含量与 Vc 的含量呈一定负相关。作为叶类蔬菜, 莴笋吸收的氮素以硝态氮为主, 硝态氮对莴笋生长发育以及产量品质有重要影响。在硝酸还原酶(NR)和亚硝酸还原酶(NiR)作用下蔬菜吸收的硝酸盐可被还原形成蛋白质、氨基酸等有机化合物。此外, 硝酸盐、蛋白质、氨基酸等可以

在莴笋茎、叶之间转移和分配。因此莴笋卫生品质和营养品质间关系密切。相关分析(表9)表明, 莴笋叶片硝酸盐与叶片 Vc 含量呈极显著负相关, 与叶片氨基酸

相关性不明显。叶片硝酸盐与茎 Vc 呈极显著负相关, 与茎氨基酸呈显著负相关。茎硝酸盐与叶 Vc、茎 Vc、叶氨基酸、茎氨基酸呈显著负相关。

表 7 莴笋叶片磷素养分形态测定结果

Table 7 Determination of forms of P nutrient in lettuce leaf

处理代号 Treatment code	全磷 Total P		蛋白磷 Protein P		非蛋白磷 Non-protein P		蛋白磷/全磷 Protein P/ total P	非蛋白磷/全磷 Non-protein P/ total P
	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	(%)	(%)
	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)
CK(N)	5.8 ± 1.3ab	100	2.3 ± 0.4bc	100	3.5 ± 0.9a	100	39.7	60.3
NP ₁ K ₂	6.1 ± 0.3ab	105	2.9 ± 0.1a	126.1	3.2 ± 0.2ab	91.4	47.5	52.5
NP ₂ K ₂	5.6 ± 0.6ab	96.6	2.3 ± 0.1bc	100	3.3 ± 0.5ab	94.3	41.1	58.9
NP ₂ K ₁	5.7 ± 0.9ab	98.3	2.0 ± 0.4c	87.0	3.7 ± 0.5a	105.7	35.1	64.9
NP ₁ K ₂ Mg	5.9 ± 0.3ab	101.7	2.9 ± 0.1a	126.1	3.0 ± 0.2ab	85.7	49.2	50.8
NP ₁ K ₂ MgZnB	4.8 ± 0.5b	82.8	2.1 ± 0.1c	91.3	2.7 ± 0.3b	77.1	43.8	56.2
NP ₁ K ₂ RM	5.3 ± 0.5b	91.4	2.4 ± 0.3bc	104.3	2.9 ± 0.2ab	82.9	45.3	54.7
NP ₁ K ₂ PP	6.4 ± 1.0a	110.3	3.2 ± 0.7a	139.1	3.2 ± 0.3ab	91.4	50.0	50.0

表 8 莴笋叶片钾素养分形态测定结果

Table 8 Determination of forms of K nutrient in lettuce leaf

处理代号 Treatment code	全钾 Total K		蛋白钾 Protein K		非蛋白钾 Non-protein K		蛋白钾/全钾 Protein K/ total K	非蛋白钾/全钾 Non-protein K/ total K
	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	$\bar{x} \pm S$	增加 Increased	(%)	(%)
	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)
CK(N)	37.8 ± 11.2c	100	2.4 ± 0.1b	100	35.4 ± 0.55c	100	6.4	93.6
NP ₁ K ₂	40.0 ± 4.9c	105.7	2.5 ± 0.2b	102.9	37.5 ± 0.21bc	105.9	6.2	93.8
NP ₂ K ₂	41.6 ± 10.9bc	109.9	2.7 ± 0.2b	111.5	38.9 ± 0.52bc	109.8	6.5	93.5
NP ₂ K ₁	38.5 ± 2.7c	101.8	2.5 ± 0.1b	100.0	36.1 ± 0.12c	101.9	6.3	93.7
NP ₁ K ₂ Mg	49.3 ± 3.0a	130.5	2.8 ± 0.3b	117.1	46.5 ± 0.12a	131.4	5.8	94.2
NP ₁ K ₂ MgZnB	50.7 ± 9.3a	133.9	3.5 ± 0.3a	142.9	47.2 ± 0.43a	133.3	6.8	93.2
NP ₁ K ₂ RM	47.6 ± 7.6ab	125.5	3.8 ± 0.2a	154.3	43.8 ± 0.36ab	124.3	1.4	98.6
NP ₁ K ₂ PP	47.3 ± 4.8ab	124.8	3.5 ± 0.3a	142.9	43.8 ± 0.21ab	123.6	0.9	99.1

2.6 莴笋养分形态与品质的关系

蔬菜体内氮磷钾素的代谢具有协调性和一致性, 蔬菜硝酸盐不仅是氮素代谢的重要组成部分, 也和磷、钾的代谢关系密切, 受氮磷钾代谢水平的调控。硝酸盐累积是营养代谢尤其是氮素代谢受阻所致, 因而也必然影响植物体内有机营养物质的形成、转化与分配。不同肥料组合处理莴笋叶片的氮素形态中仅非蛋白氮含量与莴笋茎硝酸盐含量呈显著负相关、与茎 Vc 呈显著正相关、叶氨基酸含量呈极显著正相关

(表9), 施肥中氮磷比对硝酸盐积累有明显影响, 同时影响叶菜其他品质指标提高。磷素形态中非蛋白磷含量与茎硝酸盐含量呈正相关, 与叶 Vc 和茎氨基酸含量呈显著负相关。与莴笋叶片的氮素和磷素形态相比, 不同钾素形态与莴笋品质之间的关系较为密切, 其中非蛋白钾含量、全钾与叶硝酸盐含量呈显著负相关; 蛋白钾、非蛋白钾、全钾与茎硝酸盐均表现极显著负相关。钾素与叶、茎的 Vc 呈显著正相关。非蛋白钾、全钾与茎氨基酸及蛋白钾与叶氨基酸达极显

著正相关, 蛋白钾与茎氨基酸显著正相关, 非蛋白钾与叶氨酸相关性不明显。其原因在于作为蔬菜的品

质元素, 钾素广泛参与蔬菜氮磷钾代谢, 对蔬菜产量形成和品质构成具有重要的调控作用^[15]。

表9 莴笋叶片养分形态与品质的相关系数(r)

Table 9 Correlation coefficient(r) between form and quality of nutrients in lettuce

项目 Item	叶硝酸盐 Nitrate in leaf	茎硝酸盐 Nitrate in stem	叶Vc Vc in leaf	茎Vc Vc in stem	叶氨基酸 Amino in leaf	茎氨基酸 Amino in stem
非蛋白钾 Non-protein K	-0.737*	-0.911**	0.806*	0.730*	0.590	0.986**
蛋白钾 Protein K	-0.640	-0.931**	0.831*	0.783*	0.919**	0.756*
全钾 Total K	-0.742*	-0.932**	0.825*	0.750*	0.636	0.982**
非蛋白磷 Non-protein P	0.580	0.789*	-0.762*	-0.466	-0.508	-0.812*
蛋白磷 Protein P	-0.039	-0.357	-0.065	0.048	0.349	0.182
全磷 Total P	0.356	0.228	-0.566	-0.272	-0.046	-0.391
非蛋白氮 Non-protein N	-0.503	-0.735*	0.594	0.753*	0.918**	0.392
蛋白氮 Protein N	0.176	0.218	-0.093	-0.270	-0.280	-0.006
全氮 Total N	-0.322	-0.506	0.483	0.477	0.624	0.369
叶硝酸盐 Nitrate in leaf	1	0.724*	-0.883**	-0.857**	-0.563	-0.742*
茎硝酸盐 Nitrate in stem		1	-0.803*	-0.834**	-0.856**	-0.884**
叶Vc Vc in leaf			1	0.791*	0.691	0.820*
茎Vc Vc in stem				1	0.765*	0.750*
叶氨基酸 Amino acid in leaf					1	0.576
茎氨基酸 Amino acid in stem						1

注: $n=6$, $r_{0.05}=0.707$ $r_{0.01}=0.834$

3 结论

大田试验条件下, 不同肥料组合较 CK 使莴笋增产135.8%~177.0%, 均达极显著, 以 NP_1K_2MgZnB 处理增产作用最大。不同肥料组合使莴笋叶片和茎硝酸盐含量降低10.4%~29.2%和1.8%~19.5%, 莴笋叶Vc含量提高7.9%~26.1%, 茎氨基酸含量提高0.6%~10.0%, 均以 NP_1K_2MgZnB 处理的作用最大。莴笋叶片养分形态中, 氮素以蛋白氮为主, 磷素和钾素分别以非蛋白磷和非蛋白钾为主。不同肥料组合对氮、磷形态的效应不一致, 对3种钾形态均有提高作用。莴笋叶片氮磷钾养分形态与莴笋茎、叶硝酸盐和营养品质(Vc、氨基酸)的关系十分密切。

参考文献

[1] 叶勤. 几种叶类蔬菜硝酸盐与营养品质的关系. 西南农业大学学报, 2002, 24(2): 112~114. Ye Q. Nitrate accumulation in several leafy vegetables and its relationship with their nutrient quality (In Chinese). Journal of Southwest Agricultural University, 2002, 24(2): 112~114

[2] 张漱茗, 孙顶国. 平衡施肥与改善作物品质. 中国农学通报,

1999, 15(2): 27~34. Zhang S M, Sun D G. Effect of balanced fertilization on crop quality improvement (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 1999, 15(2): 27~34

[3] 李俊良, 陈新平, 李晓林, 等. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应. 土壤学报, 2003, 40(2): 261~266. Li J L, Chen X P, Li X L, et al. Effect of N fertilization on yield, nitrate content and N apparent losses of chinese cabbage (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(2): 261~266

[4] Wang Z H, Li S X. Effects of N forms and rates on vegetables growth and nitrate accumulation. Pedosphere, 2003, 13(4): 309~316

[5] 沈其荣, 汤利, 徐阳春. 植物液泡中硝酸盐行为的研究概况. 土壤学报, 2003, 40(3): 465~470. Shen Q R, Tang L, Xu Y C. A review of the behavior of nitrate in vacuoles of plant (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 465~470

[6] 西北农业大学, 华南农业大学主编. 农业化学研究法(第二版)上册. 北京: 中国农业出版社, 1992. 75~80. Northwest Agriculture University, South China Agriculture University. eds. Agrochemistry Analysis Methods (In Chinese). 2nd Ed. Beijing: China Agricultural Press, 1992. 75~80

[7] 白厚义, 肖俊璋主编. 试验研究及统计分析. 西安: 世界图书出版公司, 1998. 120~127. Bai H Y, Xiao J Z. eds. Experimental Research and Statistical Analysis (In Chinese). Xi'an: World Book Press, 1998. 125~126

[8] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 23~24. Bai B Z, Tang X J. Determination Tech-

- mology on Plant Physiology (In Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1993. 23~ 24
- [9] 陈巍, 罗金葵, 姜慧梅, 等. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响. 土壤学报, 2004, 41(3): 420~ 425. Chen W, Luo JK, Jiang H M, *et al.* Effects of different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+-\text{N}$ ratios on the biomass and nitrate content of different cultivars of Chinese cabbages (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(3): 420~ 425
- [10] 陈新平, 邹春琴, 刘亚萍, 等. 菠菜不同品种累积硝酸盐能力的差异及其原因. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 30~ 34. Chen X P, Zou C Q, Liu Y P, *et al.* The nitrate content difference and the reason among four spinach varieties (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(1): 30~ 34
- [11] Biemond H, Vos J, Struik P C. Effect of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen of vegetable. 3. Spinach. *Netherlands J. Agri. Sci.*, 1996, 44(3): 227~ 239
- [12] 李会合, 王正银, 张浩, 等. 不同有机肥料对基质栽培叶菜的营养效应研究. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 66~ 69. Li H H, Wang Z Y, Zhang H, *et al.* Effects of organic manures on nutrient quality of foliage vegetables grown in soilless culture (In Chinese). *Journal of Southwest Agricultural University*, 2003, 25(1): 66~ 69
- [13] 徐培智, 陈建生, 张发宝, 等. 蔬菜控释肥的产量和品质效应研究. 广东农业科学, 2003, 3(1): 28~ 30. Xu P Z, Chen J S, Zhang F B, *et al.* Effect of control released fertilizer on yield and quality of vegetables (In Chinese). *Guangdong Agriculture Science*, 2003, 3(1): 28~ 30
- [14] 徐卫红, 王正银, 刘飞. 不同土壤与施肥对莴笋硝酸盐和营养品质效应. 西南农业大学学报, 2001, (6): 553~ 556. Xiu WH, Wang Z Y, Liu F. Effects of fertilization on nitrate content and nutritional quality of lettuce grown in different soils (In Chinese). *Journal of Southwest Agricultural University*, 2001, (6): 553~ 556
- [15] Ni WH, Hardter R. Influence of potassium fertilization on yield and quality of foliage vegetable crops. *Pedosphere*, 2001, 11(1): 77~ 82

EFFECTS OF FERTILIZER COMBINATION ON YIELD AND QUALITY OF LETTUCE

Di Caixia¹ Li Huihe¹ Wang Zhengyin¹ Ding Huaping¹ Li Xiaoqing¹ Li Qingrong¹ Xiang Huahui² Liu Xing²

(1 College of Resources and Environmental Science, Southwest Agriculture University, Baiba, Chongqing 400716, China)

(2 Jiulongpo Agricultural Department in Chongqing, Shipingqiao, Chongqing 400051, China)

Abstract A field experiment was conducted to study effects of fertilizer combination on yield, quality and forms of nutrients in leaf of lettuce. The results show that yield of lettuce was significantly increased (135. 8% ~ 177. 0%) by balanced application of secondary- and micro-nutrient fertilizer and organic fertilizer in addition to N application at the same rate in CK. In terms of yield increment, the treatments were in the sequence of $\text{NP}_1\text{K}_2\text{MgZnB}$ > NP_2K_2 > $\text{NP}_1\text{K}_2\text{RM}$ > $\text{NP}_1\text{K}_2\text{PP}$ > $\text{NP}_1\text{K}_2\text{Mg}$ > NP_1K_2 > NP_2K_1 . Nitrate contents of lettuce were reduced in all treatments. It was the most significant in Treatment $\text{NP}_1\text{K}_2\text{MgZnB}$ and the least in Treatment NP_2K_2 in leaf, and the most in Treatment $\text{NP}_1\text{K}_2\text{RM}$ and the least in Treatment NP_2K_2 in stem. Quality of the lettuce was improved in all the treatments and the most in Treatment $\text{NP}_1\text{K}_2\text{RM}$. In terms of forms of nutrients in the plant, protein-N, non-protein-P and non-protein-K dominate, respectively, in the lettuce leaf. Effects of fertilizer combination on forms of N and P nutrients in the leaf of lettuce differed from treatment to treatment but the effects of raising contents of the three forms of potassium were similar. Among the forms of nutrients, only non-protein-N showed a significantly negative correlation with nitrate in the stem of lettuce, but a positive one with Vc content in the stem and amino acid content in the leaf, non-protein-P showed a significantly negative correlation with Vc in the leaf and amino acid in the stem, and non-protein K and total K showed a significantly negative correlation with nitrate in the leaf but a positive one with Vc contents in the stem and leaf and amino acid in stem. Protein K showed a significantly negative correlation with nitrate in the stem, but a positive one with Vc and amino acid in the stem and leaf.

Key words Fertilizer combination; Lettuce; Yield; Quality; Nutrient form