

作物生长中光照和氮肥施用量的相互关系研究

曾希柏

(中国农业科学院农业自然资源和农业区划研究所山区研究室, 北京 100081)

青长乐 谢德体 侯光炯

(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要 应用盆栽试验,在人工气候箱内进行的研究结果表明:光照强度($X_1, \mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)和氮肥施用量($X_2, \text{g} / \text{pot}$)均对莴笋生长及生物量产生影响,且二者的变化与莴笋生物量的关系可表示为 $y = -0.375 + 0.0230X_1 + 9.421X_2 + 0.0251X_1X_2 - 0.131 \times 10^{-4}X_1^2 - 17.794X_2^2$ 形式;不同光照强度下氮肥施用量与莴笋生物量的关系均可表示为 $y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ 形式;不同氮肥施用量下,光照强度与莴笋生物量的关系亦可用二次或三次多项式来表示。根据研究结果,还求得了氮肥施用量(X_2)与光照强度(X_1)的关系为: $X_2 = 0.446 - 0.477 \times 10^{-2}X_1 + 0.269 \times 10^{-4}X_1^2 - 0.394 \times 10^{-7}X_1^3$ 。此外,本研究还探讨了光照强度、氮肥施用量与莴笋的氮素营养状况的关系。

关键词 莴笋, 氮肥, 光照强度, 生物量

中图分类号 S143.1⁺9

光照是植物进行光合作用、并赖以生长的前提条件;氮是作物营养的三要素之一,作物氮素营养状况的好坏,直接决定了其产量的高低和品质的优劣,迄今为止,关于光照或氮肥施用量与作物产量及品质相互关系的研究已经很多,但是,对二者相互关系的研究还不多^[1~3]。本文根据侯光炯土壤肥力“生物热力学”的有关设想^[4~6],在对氮肥施用量与作物光合特性相互关系等有关研究^{[7], (1)}的基础上,研究了光照强度和氮肥施用量对莴笋的生物量、氮素营养等的影响,并在此基础上探讨了二者的相互关系,以为相应研究的进一步发展及作物的高产、优质、高效施肥提供更为可靠、更为准确的参考依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验选用四川盆地侏罗系沙溪庙组紫色母岩发育的大眼泥土进行,土壤采自重庆市北碚区,其基本

(1) 曾希柏,土壤-植物(莴笋)系统中的“光肥(氮)平衡”研究。西南农业大学博士学位论文,1996(下同)

收稿日期:1998-08-06;收到修改稿日期:1999-05-31

性质为: pH 6.46; 有机质 16.49g / kg; 全 N 1.030g / kg; 全 P 0.846g / kg; 全 K 27.54g / kg; 碱解 N 94.7mg / kg; 速效 P 11.9mg / kg; 速效 K 105.8mg / kg; CEC 26.7cmol(+) / kg; < 1 μ m 粘粒 125.4g / kg, 肥力较高。

1.2 供试作物

选用重庆地区的大白茼蒿笋 (*Lactuca sativa* Var. *Angustana* Irish), 其幼苗购自重庆市北碚区歇马镇蔬菜苗圃园, 约 5 叶龄。

1.3 试验设计 试验共设置五种不同的光照强度和氮肥施用水平, 详见表 1。

表 1 试验设计方案

Table 1 The scheme of experiment design

项目 Item	代号 Code	处理 Treatment	试验条件 Condition
光照强度	①	80 μ mol/m ² ·s	在人工气候箱内进行,
	②	160 μ mol/m ² ·s	其控制条件为昼/夜温度
	③	220 μ mol/m ² ·s	18/12 $^{\circ}$ C、湿度(85 \pm 2)%、
	④	270 μ mol/m ² ·s	日光照 12 小时 ^[8~10]
	⑤	320 μ mol/m ² ·s	
氮肥用量	N0	不施 N 肥	底肥为每千克土中加入
	N1	每千克土中施 N0.05g (0.105g/pot)	P ₂ O ₅ 0.10g、K ₂ O 0.12g、
	N2	每千克土中施 N0.10g (0.21g/pot)	肥料分别用尿素、
	N3	每千克土中施 N0.15g (0.315g/pot)	过磷酸钙和 K ₂ SO ₄
	N4	每千克土中施 N0.20g (0.42g/pot)	

试验采用 $\phi 16 \times 12$ cm 的塑料米氏盆, 每盆装过 3mm 筛的风干土 2.1kg, 并在茼蒿笋幼苗移栽前一星期按各处理用量施入化肥(尿素、过磷酸钙和硫酸钾)。试验采用完全设计, 重复三次, 每盆内定植苗龄一致、长势相近的茼蒿笋幼苗三株, 在每种光照强度下均采用随机排列。在移栽成活后一星期开始放入人工气候箱内处理, 处理时间 35 天。试验结束后分处理收割, 并取茼蒿笋植株 105 $^{\circ}$ C 杀青 15min, 60 $^{\circ}$ C 烘干后测产, 用部分植株进行全氮分析。

2 结果与讨论

2.1 光照强度、氮肥施用量与茼蒿笋生物量

表 2 为光照强度、氮肥施用量对茼蒿笋生物量影响的试验结果。

表 2 不同光照条件下氮肥施用量与茼蒿笋生物量¹⁾ (g/盆)

Table 2 The lettuce yield in various light intensities and N applications

光照强度 Light intensity (μ mol/m ² ·s)	氮肥施用水平 N application				
	N0	N1	N2	N3	N4
80	1.62	2.25	2.56	2.31	1.69
160	2.69	3.64	4.33	3.80	2.91
220	3.94	5.85	6.82	6.74	5.86
270	5.16	6.21	7.03	7.28	6.58
320	5.84	6.83	7.80	8.64	8.21

1) 为试验各重复平均值

根据表 2 结果,按二因素五水平完全设计试验,应用求肥料效应函数模型的有关方法,可以求得光照强度($X_1, \mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)、氮肥施用量($X_2, \text{Ng} / \text{pot}$)与莴笋生物量(y , 干物重 g / pot)三者相互关系的回归模型如(1)式所示:

$$Y = -0.375 + 0.02330X_1 + 9.421X_2 + 0.0251X_1X_2 - 0.131 \times 10^{-4}X_1^2 - 17.794X_2^2 \quad (1)$$

$$F = 126.04^{**}, \quad R^2 = 0.971^{**} \quad (n = 25)$$

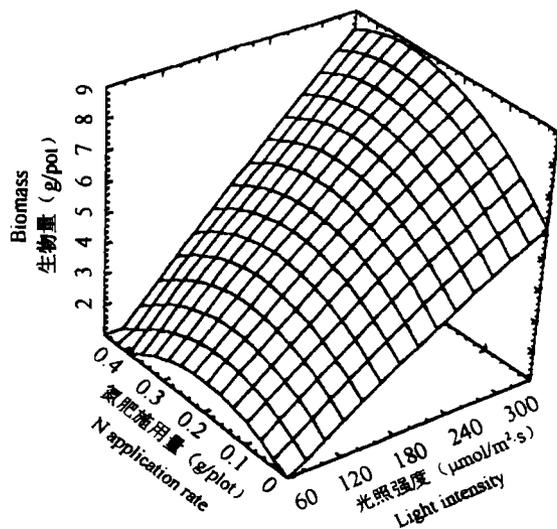


图1 光照强度、氮肥施用量与莴笋生物量效应曲面

Fig.1 The curved surface of light intensity, N fertilizer application rate and lettuce biomass

根据所求得的回归模型,可将上述三者的关系用图 1 所示的效应曲面来表示。从图 1 可以看出:在相同施氮量条件下光照强度的变化、或者相同光照强度下施氮量的变化,都将会导致莴笋生物量的改变。上述光照强度变化与施氮量变化相比较,显然以前者变化所引起的莴笋生物量变化幅度要大,说明光照强度的变化对莴笋生长的影响在某种程度上超过了氮肥施用量的影响。不过,本试验中因为在人工气候箱内所能调节到的最强光照强度仅为 $320 \mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$,远远没有达到莴笋光饱和点时的光照强度要求,

因此,图中显示的莴笋生物量均是随光照强度的上升而增加的。

2.2 不同光照强度下施氮量与莴笋生物量

根据表 2 中的有关结果,可以求得不同光照强度处理下,氮肥施用量(X)与莴笋生物量(Y)相互关系的回归方程式,并可根据其回归方程式求得有关参数(表 3)。

表3 不同光照强度下的氮肥效应方程式

Table 3 The response equation of N fertilizer in different light intensity

光照强度 Light intensity ($\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)	氮肥效应方程式 Response equation	R^2	最高生物量施肥 Application (g/pot)	最高生物量 Highest yield (g/pot)	氮肥的增产效应 Increase production (g/gN)
80	$Y = 1.609 + 8.517X - 19.825X^2$	0.996**	0.215	2.47	3.95
160	$Y = 2.654 + 13.905X - 31.746X^2$	0.973**	0.22	4.18	6.95
220	$Y = 3.949 + 22.546X - 42.954X^2$	0.999**	0.26	6.91	11.38
270	$Y = 5.089 + 14.799X - 20.369X^2$	0.981**	0.36	7.78	7.47
320	$Y = 5.755 + 13.659X - 18.076X^2$	0.983**	0.38	8.34	6.79

从表 3 中的结果可以看出:无论在何种光照强度处理下,莴笋生物量与氮肥施用量之间均具有极显著的相关关系,且这种关系均可用二次多项式形式 $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ 来表示,但在不同光照强度下的关系显然是不尽一致的,相应地,其所能达到的最高生物量、最

高生物量时的相应施肥量、以及达到最高生物量时氮肥的增产效果等均有一定差异。当光照强度在 $320\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时, 莴笋所能达到的最高生物量为 $8.34\text{g}/\text{pot}$, 所对应的氮肥用量为 $\text{N } 0.38\text{g}/\text{pot}$, 而在光照强度为 $80\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时, 莴笋所能达到的最高生物量则仅 $2.47\text{g}/\text{pot}$, 相应的施氮量亦最少, 仅 $\text{N } 0.215\text{g}/\text{pot}$; 不同光照下莴笋达到最高生物量时氮肥的增产效果, 以 $220\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时较高, 每克纯氮可增产 11.38 克, 而以 $80\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时最低, 每克纯氮仅增产 3.95 克。

图 2 为表 3 中各模型的模拟曲线, 从中可以看出; 在氮肥施用量相同时, 显然以光照较强时的莴笋生物量较高, 在光照强度 $< 160\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时, 通过调节氮肥施用量所能获得的莴笋最高生物量, 甚至还低于光照较强状态下不施氮肥时的生物量, 这种结果说明: 在光照严重不足的情况下, 作物(莴笋)所表现出的生长变化, 在很大程度上是无法通过施肥来弥补的。即施肥(氮)所起的作用, 只能是调节在既定的土壤及光照等条件下的作物的生长状况。

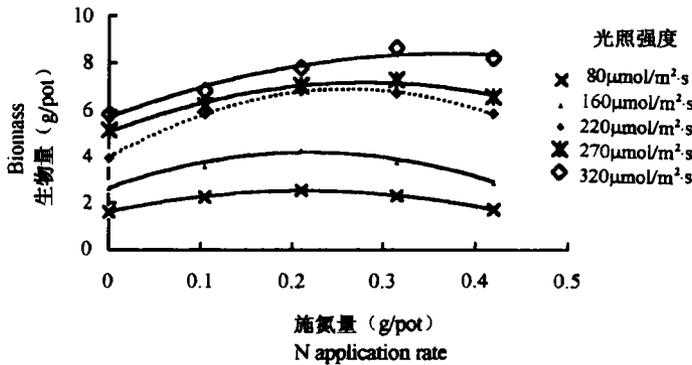


图 2 不同光照强度处理下施氮量与莴笋生物量关系模拟曲线

Fig.2 The N application and lettuce yield curve in various light intensity

2.3 光照强度与莴笋生物量及氮肥施用量的相互关系

根据前述不同光照强度下氮肥施用量与光照强度的关系式所求出的一系列参数, 还可以求得光照强度与相应光照强度下通过施氮所能获得的最高生物量、以及最高生物量时的相应施氮量之间的回归模型, 分别为:

$$Y_A = 0.726 + 0.041X - 0.367 \times 10^{-4}X^2, R^2 = 0.970^{**} \quad (2)$$

$$Y_N = 0.446 - 0.477 \cdot 10^{-2}X + 0.269 \cdot 10^{-4}X^2 - 0.394 \cdot 10^{-7}X^3, R^2 = 0.970^{**} \quad (3)$$

式中: Y_A —某种光照强度下施氮所能获得的最高生物量 (g/pot); Y_N —与 Y_A 相对应的氮肥施用量 (g/pot); X —光照强度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)。

上述二关系式说明: 在试验所控制的光强范围内, 无论在何种光照强度下, 都可以获得与之相对应的莴笋最高生物量和最高生物量时的氮肥施用量, 并且它们与光照强度的变化均有极显著的相关关系。说明光照强度的变化, 在某种意义上来说对氮肥的最适施用量是具有决定作用的; 反之, 在不同的氮肥施用量下, 也要求有与之相对应的光照强度。但是, 因为光照强度的变化是我们很难通过人工措施来调节和控制的, 而施肥量则是可以人为调节和控制的, 所以, 无论在何种光照强度下, 我们都可以通过调节施肥(氮肥)来达到相应条件下莴笋的最高生物量, 而这个最高生物量点显然是因光照条件的不同而移动

的,或者说是随光照强度的改变而变化的。即光与肥之间确实具有极显著的相关,只是在二者之间我们目前所能调节和控制的仅仅是肥而已。

2.4 不同氮肥施用条件下光照强度的变化与莴笋生物量

根据试验结果,还可以求得在某种氮肥施用量条件下,光照强度(x)的变化与莴笋生物量(y)之间的相互关系,选择其中相关系数最大的回归模型,其结果如表4所示。不论是在哪种施氮水平下,光照强度的变化与相应的莴笋生物量变化之间,均有极显著的相关关系,但这种关系在不施氮处理和 N4 处理下,是呈“S”型曲线变化的,在其它施氮处理下则呈抛物线变化。也就是说,在不同的氮肥施用量条件下,二者之间的关系是具有一定的区别的。本试验中,因受设备条件等的限制,所能控制的最大光照强度仅 $320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$,远没有达到莴笋的光饱和点($500 \sim 600\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)所需要的光强,因此,根据表4中光照强度与莴笋生物量的回归模型所求得的、莴笋达到最高生物量时的光照强度,实际上都已经超过了 $320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。而且,所求得的光照强度值似乎与氮肥施用量之间无显著相关,所以,本文均以光照强度为 $320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时所相应的莴笋生物量,作为在某种施氮量下所能获得的最高生物量,显然,这样所求得的最大生物量与氮肥施用量之间也是密切相关的。

表4 不同氮肥施用量条件下光照强度与莴笋生物量的关系模型

Table 4 The regressive equation of light intensity and lettuce yield in different N application

处理 Treatment	回归效应方程 Regressive equation	R^2	最高生物量 ¹⁾ Highest yield (g/pot)
N0	$Y=2.592-0.0296Z+0.251 \times 10^{-3}Z^2 - 0.395 \times 10^{-6}Z^3$	0.999**	5.88
N1	$Y=-0.535+0.0366Z-0.420 \times 10^{-4}Z^2$	0.980**	6.88
N2	$Y=-0.816+0.0454Z-0.579 \times 10^{-4}Z^2$	0.980**	7.78
N3	$Y=-0.390+0.0326Z-0.146 \times 10^{-4}Z^2$	0.965**	8.55
N4	$Y=3.563-0.0544Z+0.436 \times 10^{-3}Z^2-0.693 \times 10^{-6}Z^3$	0.981**	8.09

1) 指在光照强度(Z)为 $0 \sim 320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 范围内所能获得的最高生物量。

从上述结果,我们可以看出:供试条件下,无论是在哪种光照强度、或者是在哪种氮肥施用条件下,莴笋都可以获得一个相应条件下的最高生物量,也就是说,我们都可以找到一个与之相对应的作物生长的最高点。但这个最高点是因光照强度或氮肥施用量的变化而改变的,即在不同的光照或氮肥施用量条件下,莴笋会相应地具有不同的生物量的最高点,很明显,在自然条件下作物所能达到的最高产量在很大程度上是由太阳光的强弱所控制的。

2.5 光照强度、氮肥施用量与莴笋的氮素利用效果

根据试验结果,结合收割后取莴笋植株进行全氮分析所得结果,可以得出不同光照强度及氮肥施用条件下,莴笋的氮素营养状况(表5)。

从表5的结果可以看出:在本试验所控制的光照强度范围内,莴笋从土壤中所吸收的氮量,是随光照的增强而上升的,即光照越强,莴笋所吸收利用的氮量就越多。另外,从不施氮处理(N0)结果来看,当光照强度为 $80\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时,莴笋所吸收的氮素仅 $53.2\text{mg} / \text{pot}$,但光照强度增加至 $320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时,则其吸收氮量增加至 $152.2\text{mg} / \text{pot}$,

表5 不同光照条件下施氮量与莴笋氮素营养的相互关系

Table 5 The correlation of N application and lettuce N nutrition in different light intensities

处理	项目	80	160	220	270	320
Treatment	Item	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$				
N0	植株含氮量	32.84	33.05	32.92	28.13	26.07
	总吸收氮量	53.2	88.9	129.7	145.2	152.2
N1	植株含氮量	34.88	34.87	34.12	33.96	29.89
	总吸收氮量	78.5	126.9	199.6	210.9	204.1
N2	植株含氮量	36.76	35.37	37.64	36.58	34.85
	总吸收氮量	94.1	153.2	256.7	257.2	271.8
N3	植株含氮量	36.70	37.81	37.82	37.39	36.19
	总吸收氮量	84.4	143.7	254.9	272.2	306.2
N4	植株含氮量	38.88	37.83	37.37	37.29	36.93
	总吸收氮量	65.7	110.1	219.0	245.4	303.2

注: 表中各项目所用单位: 植株含氮量— Ng/kg ; 总吸收氮量— Nmg/pot ;

增加了近 2 倍, 说明随着光照的增强, 莴笋从土壤中吸收的氮量也就愈多, 即相应地对土壤中氮的吸收能力也得到加强。

莴笋所吸收的氮量与氮肥的施用量在一定的范围内呈正相关, 且这个范围大致上是在 $\text{N}_1 \sim \text{N}_3$ 之间, 同时亦与光照的强弱具有一定的联系。这种结果说明: 在 $\text{N}_1 \sim \text{N}_3$ 之间的某种施氮量下, 莴笋的氮素营养与光合作用及生长都达到了最佳匹配状态, 亦即达到了其最大生长点, 此时, 增加或减少施氮量, 都势必使莴笋体内碳水化合物的合成和氮素营养之间不能达到真正的平衡, 因而其氮素营养、光合作用和生长都会受到一定影响。

根据本研究所得结果, 光照和氮肥施用量的变化对莴笋的生长和产量均具有一定影响, 且它们相互之间在一定范围内能较好地取得协调一致, 并且土壤中氮素的变化亦与光照和氮肥施用量影响下莴笋生长等的变化相对应。这种结果较好地支持了土壤肥力“生物热力学”中的有关论述^[6], 其结果在很大程度上也可以说是对侯光炯提出的“光肥平衡”观点的支持, 即通过施肥等措施调节土壤养分的供应, 可以使土壤对养分的供应与不同光照条件下植物的需要取得平衡, 而找出不同土壤、作物等条件下的“光肥平衡点”, 则是农业生产中达到作物高产、优质的关键之所在。

3 结 论

1. 光照强弱与氮肥的施用量, 都直接影响了莴笋的生物量, 但两者比较, 光照强弱的变化对莴笋生物量的影响在一定程度上还大于氮肥施用量的变化; 光照强度、氮肥施用量与莴笋生物量的关系可以用二次多项式形式来表示。

2. 在一定的光照强度下, 氮肥的施用量与莴笋生物量的关系均可以用二次多项式形式来表示, 但很明显, 在弱光下氮肥所表现的增产效应要小得多, 且对氮肥的需要也较少; 在一定的氮肥施用量下, 光照强度与莴笋生物量的关系亦可以用多项式形式来表示, 但在 80 和 $320 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时以三次多项式的相关最好, 且其总体相关性不如氮肥施用量与莴

笋生物量的关系,这可能与本试验中的最强光照较弱(仅 $320\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)等原因有关。

3. 光照强度与氮肥施用量之间亦具有较好的相关,一般说来:光照愈强,作物对氮肥的需要也愈多;同样,在氮素供应充足时,增强光照则有利于作物高产。这就提醒我们在施肥时必须考虑天气(在本研究中主要指光照)的情况,此亦即侯光炯在“生物热力学”中的所谓“看天”。

4. 光照强弱及氮肥施用量的变化,同时也在一定程度上决定了作物的氮素营养状况,而且只有在光照强度与氮肥施用量相互匹配(达到平衡)时,才能发挥出作物生长的最大潜能。

致 谢 西南农业大学土壤肥力研究室魏朝富研究员在试验中多有指教,在此深表谢意!

参 考 文 献

1. 广川智子,伊藤纯雄ら. 日照、クイ酸施用、降水浸透が水稻の穗肥窒素利用率に及ぼす影响. 日土肥志,1993, 64(6):650~654
2. Ekwebelam S A, Reid C P P. Nitrogen fertilization and light effects on growth and photosynthesis of lodgepole pine seedlings, *Annals Applied Biology*, 1984, 105(1):117~127
3. Knight S L, Mitchell C A. Enhancement of lettuce yield by manipulation of light and nitrogen nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1983, 108(5):750~754
4. 侯光炯,周源芳著. 农业土壤学基础知识. 成都:四川人民出版社,1982
5. 侯光炯. 种地养地结合培肥地力,不断提高单位面积生物量和产品质量. 见:陈俊生主编. 建设高产优质高效农业. 北京:农业出版社,1994. 409~417
6. 曾希柏. 土壤肥力生物热力学及其理论进展. *土壤通报*,1996,27(6):273~276
7. 曾希柏,谢德体,青长乐等. 氮肥施用量对莴笋光合特性和产量的影响研究. *植物营养与肥料学报*,1997,3(4): 323~328
8. 蔡俊德,叶丽询编. 南方蔬菜栽培技术. 北京:农业出版社,1990. 161~168
9. 浙江农业大学主编. 蔬菜栽培学各论(第二版). 北京:农业出版社,1989. 136~144
10. 中国农科院蔬菜所主编. 中国蔬菜栽培学. 北京:农业出版社,1987. 496~505

INTERRELATIONSHIP OF LIGHT AND NITROGEN FERTILIZER APPLICATION IN CROP GROWTH

Zeng Xi-bo

(Upland Res. Center, Institute of Agricultural Natural Resources and Agricultural Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Qing Chang-le Xie De-ti Hou Guang-jiong

(College of Resources and Environment, Southwest Agric. Univ., Chongqing 400716)

Summary

By using the method of pot culture experiment in the case of artificial climate, the result indicated that the effects of light intensity (X_1) and N application (X_2) on lettuce yield (y) were mathematically represented by the following equation in this study: $y = -0.375 + 0.0230X_1 + 9.421X_2 + 0.0251X_1X_2 - 0.131 \times 10^{-4}X_1^2 - 17.794X_2^2$; The efficiency of N fertilizer was influenced by light intensity. A quadratic multinomial equation $y = b_0 + b_1X + b_2X^2$, could be used to describe the correlation between N application and lettuce yield. Also, quadratic or cubic multinomial equation could be used to describe the correlation between light and lettuce yield. Accordingly, the effects of light intensity (X_1) on N application (X_2) were mathematically represented by the following equation: $X_2 = 0.446 - 0.477 \times 10^{-2}X_1 + 0.269 \times 10^{-4}X_1^2 - 0.394 \times 10^{-7}X_1^3$. Moreover, nitrogen nutrition of lettuce was bigger influenced by light and N application.

Key words Lettuce(*Lactuca sativa* Var. angastana Irish.) N fertilizer, Light intensity, Yield